

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-235920

(43)Date of publication of application : 23.08.1994

(51)Int.Cl.

G02F 1/1337

G02F 1/133

G09G 3/36

(21)Application number : 05-195601

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 14.07.1993

(72)Inventor : TANAKA TAKAAKI  
SATO YUZURU

(30)Priority

Priority number : 04189436

Priority date : 16.07.1992

Priority country : JP

04197034

23.07.1992

JP

04217931

17.08.1992

JP

04263836

01.10.1992

JP

04339051

18.12.1992

JP

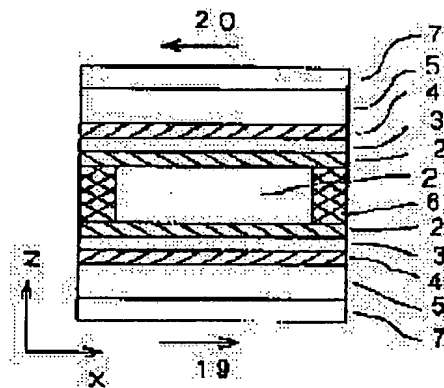
## (54) LIQUID CRYSTAL ELECTRO -OPTICAL ELEMENT

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide a liquid crystal electro-optical element using a light source such as a white light source and having a high contrast ratio and a high light transmission factor in the on-state by specifying the angle between the polarization axis of a polarizing plate and the rubbing direction in response to the initial state of liquid crystal and the retardation of a liquid crystal layer.

**CONSTITUTION:** The inherent spiral pitch  $p_0$  of a chiral nematic liquid crystal layer 21 is adjusted so that the twist angle in the initial state before voltage, is applied is made nearly  $\phi; r$  against the angle  $\phi; r$  of the rubbing direction applied to each orientation film 2. Angles between director vectors of liquid crystal molecules kept in contact with individual orientation films 2 and the substrate face in the initial state are in the opposite sign relation, and the twist angle of the liquid crystal layer 21 has two metastable states of nearly  $\phi; r + 180^\circ$  and  $\phi; r - 180^\circ$

as the relaxation state after the pulse voltage is applied. The angle between the polarization axis of each polarizing plate 2 and one rubbing direction is set so that the contrast ratio between metastable states is made 2 or above in response to the product  $R(d, \Delta n)$  of the thickness ( $d$ ) of the liquid crystal layer 21 and the apparent double refraction factor  $\Delta n$  and the value of  $\phi; r$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.05.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-235920

(43)公開日 平成6年(1994)8月23日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
G 0 2 F	1/1337	5 1 0	9225-2K	
	1/133	5 6 0	9226-2K	
G 0 9 G	3/36	7319-5G		

審査請求 未請求 請求項の数22 FD (全 42 頁)

(21)出願番号 特願平5-195601

(22)出願日 平成5年(1993)7月14日

(31)優先権主張番号 特願平4-189436

(32)優先日 平4(1992)7月16日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平4-197034

(32)優先日 平4(1992)7月23日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平4-217931

(32)優先日 平4(1992)8月17日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 田中 孝昭

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 佐藤 譲

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74)代理人 弁理士 菅 直人 (外1名)

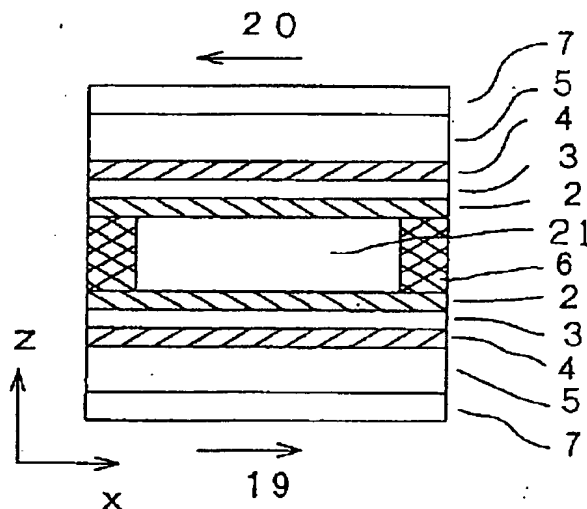
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 液晶電気光学素子

(57)【要約】

【目的】 フレデリクス転移を経て双安定状態を有するカイラルネマティック液晶を用いた電気光学素子を高コントラスト比、高透過率の表示特性を実現させる。

【構成】 光源として白色光を用い、液晶の初期状態、液晶層のレターデーションに応じて双方の偏光板の偏光軸を相互に特定の角度に設定した双安定状態間をスイッチングして表示する電気光学素子。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一対の偏光板間に有する一対の基板の対向する各内面に電極、配向膜が設けられ、かつカイラルネマティック液晶が挟持され、カイラルネマティック液晶は、各配向膜に施されたラビング方向がなす角 $\phi_r$ に対して、電圧を印加する前の初期状態におけるねじれ角が略 $\phi_r$ となるようにらせんピッチ $p_0$ が調整され、前記初期状態において、各配向膜と接している液晶分子のダイレクターベクトルと基板面とのなす角は互いに逆符号の関係にあり、前記初期状態にパルス電圧を印加した後の緩和状態として液晶のねじれ角が略 $(\phi_r + 180^\circ)$ と略 $(\phi_r - 180^\circ)$ である2つの準安定状態を有し、カイラルネマティック液晶層の厚さ $d$ と見かけ上の $\Delta n$ の積 $R(d \cdot \Delta n)$ 及び $\phi_r$ の値に応じて、各偏光板の偏光軸と一方のラビング方向との各角度 $P$ 、 $A$ とを、上記準安定状態間のコントラスト比が2以上になるように相互に設定することを特徴とする液晶電気光学素子。

【請求項2】 コントラスト比は反射型において2以上である請求項1記載の液晶電気光学素子。

【請求項3】 コントラスト比は透過型において10以上である請求項1記載の液晶電気光学素子。

【請求項4】  $\phi_r$ が $90^\circ$ 以上 $270^\circ$ 以下である請求項1記載の液晶電気光学素子。

【請求項5】  $\phi_r$ が $160^\circ$ 以上 $200^\circ$ 以下である請求項1記載の液晶電気光学素子。

【請求項6】  $\phi_r$ が略 $180^\circ$ である請求項1記載の

液晶電気光学素子。

【請求項7】 らせんピッチ $p_0$ と液晶層の厚さ $d$ が $0.8\phi_r/360^\circ \leq d/p_0 \leq 1.4\phi_r/360^\circ$ である請求項1記載の液晶電気光学素子。

【請求項8】 液晶配向膜と接している液晶分子のプレティルト角の絶対値が $1^\circ$ 以上 $25^\circ$ 以下である請求項5記載の液晶電気光学素子。

【請求項9】 角度 $P$ 、 $A$ 及び $R$ は以下の関係を満たす請求項5記載の液晶電気光学素子。

- 10 (1)  $0.102 \leq R \leq 0.4$  及び  $0.78 \leq R \leq 0.96$  の場合、  
 $[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \beta 1 \leq A \leq -P + \beta 2]$  又は  
 $[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \delta 1 \leq A \leq -P + \delta 2]$   
 (2)  $0.72 \leq R \leq 0.78$  の場合、  
 $[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \beta 1 \leq A \leq -P + \beta 2]$  又は  
 $[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$   
 (3)  $0.40 \leq R \leq 0.72$ 、 $0.96 \leq R \leq 0.99$  又は  $1.05 \leq R \leq 1.12$  の場合、  
 $[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2]$  又は  
 $[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$   
 (4)  $0.99 \leq R \leq 1.02$  の場合、  
 $[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2]$   
 (5)  $1.02 \leq R \leq 1.05$  の場合、  
 $[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$   
 但し、

$\alpha 1 = -109.4 \cdot R - 133.1$	$(0.102 \leq R \leq 1.02)$
$-225.0$	$(1.05 \leq R \leq 1.12)$
$\alpha 2 = -45.0$	$(0.102 \leq R \leq 0.32)$
$6696.4 \cdot R^3 - 8720.1 \cdot R^2 + 3354.7 \cdot R - 445.0$	$(0.32 \leq R \leq 0.64)$
$1519.0 \cdot R^3 - 4175.2 \cdot R^2 + 3568.7 \cdot R - 1087.0$	$(0.64 \leq R \leq 1.02)$
$-333.3 \cdot R + 175.0$	$(1.05 \leq R \leq 1.12)$
$\beta 1 = -9114.6 \cdot R^3 + 6666.7 \cdot R^2 - 1577.1 \cdot R + 74.0$	$(0.102 \leq R \leq 0.36)$
$-55.0$	$(0.36 \leq R \leq 0.40)$
$-75.0$	$(0.72 \leq R \leq 0.96)$
$\beta 2 = 9114.6 \cdot R^3 - 6666.7 \cdot R^2 + 1577.1 \cdot R - 74.0$	$(0.102 \leq R \leq 0.36)$
$55.0$	$(0.36 \leq R \leq 0.40)$
$75.0$	$(0.72 \leq R \leq 0.96)$
$\gamma 1 = 312.5 \cdot R^2 - 187.5 \cdot R - 37.0$	$(0.102 \leq R \leq 0.32)$
$5208.3 \cdot R^3 - 7500.0 \cdot R^2 + 3341.6 \cdot R - 537.0$	$(0.32 \leq R \leq 0.64)$
$1030.2 \cdot R^3 - 2722.0 \cdot R^2 + 2225.9 \cdot R - 684.0$	$(0.64 \leq R \leq 0.99)$
$197575.9 \cdot R^3 - 626821.6 \cdot R^2 + 662332.3 \cdot R - 233217.9$	$(1.02 \leq R \leq 1.12)$
$\gamma 2 = -625.0 \cdot R^2 + 225.0 \cdot R + 27.0$	$(0.102 \leq R \leq 0.32)$
$7254.4 \cdot R^3 - 10245.5 \cdot R^2 + 4448.2 \cdot R - 577.0$	$(0.32 \leq R \leq 0.64)$
$-558.0 \cdot R^2 + 736.6 \cdot R - 267.9$	$(0.64 \leq R \leq 0.99)$
$-5555.5 \cdot R^2 + 11500.0 \cdot R - 6024.9$	$(1.02 \leq R \leq 1.12)$
$\delta 1 = -6746.0 \cdot R^3 + 5571.4 \cdot R^2 - 1504.0 \cdot R + 166.9$	$(0.102 \leq R \leq 0.40)$
$-55.6 \cdot R + 68.4$	$(0.78 \leq R \leq 0.96)$
$\delta 2 = 6746.0 \cdot R^3 - 5571.4 \cdot R^2 + 1504.0 \cdot R + 13.1$	$(0.102 \leq R \leq 0.40)$

$$55.6 \cdot R + 111.6$$

【請求項10】 液晶の2つの準安定状態の少なくとも1つは、

$$|L| \cdot \Delta n \geq \lambda$$

但し、 $L$ は $2\pi d / (\phi_r + 180^\circ)$ 又は $2\pi d / (\phi_r - 180^\circ)$ 、 $\lambda$ は光の波長。  
の条件を満たさず、かつコントラスト比が10以上である請求項1記載の液晶電気光学素子。

【請求項11】  $L \cdot \Delta n$ は1.88 $\mu$ m未満である請求項10記載の液晶電気光学素子。

【請求項12】 2つの準安定状態のうち少なくとも一方は光学的に等方相である請求項10記載の液晶電気光学素子。

【請求項13】  $\phi_r$ が $90^\circ$ 以上 $270^\circ$ 以下である請求項10、11又は12記載の液晶電気光学素子。

【請求項14】  $\phi_r$ が $160^\circ$ 以上 $200^\circ$ 以下であり、角度 $P$ 、 $A$ 及び $B$ は以下の関係を満たす請求項1

$$\begin{aligned} \text{ただし} \quad & -99^\circ \leq \alpha_1 \leq -58^\circ \\ & -100^\circ \leq \alpha_3 \leq -60^\circ \end{aligned}$$

【請求項15】  $\phi_r$ が略 $180^\circ$ であり、角度 $P$ 、 $A$ 及び $B$ は以下の関係を満たす請求項10、11又は12記載の液晶電気光学素子。

(1)  $0.1 \leq R \leq 0.22$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1$$

(2)  $0.22 < R \leq 0.42$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1, \quad \text{又は} \quad A = -P + \beta_1$$

$$\begin{aligned} \text{ただし} \quad & -94^\circ \leq \alpha_1 \leq -63^\circ \\ & -95^\circ \leq \alpha_3 \leq -65^\circ \end{aligned}$$

【請求項16】 請求項1記載の液晶電気光学素子の各電極をそれぞれ走査電極群と信号電極群に形成してマトリックス配置し、走査電極群と信号電極群の交差部によって画素部を形成した液晶表示装置。

【請求項17】 画素部の任意の一边と各ラビング方向のなす角度をそれぞれ $10^\circ$ 以上 $80^\circ$ 以下とした請求項16記載の液晶表示装置。

【請求項18】 少なくとも一方のラビング方向は、画素部によって構成された表示パネルの上下方向に対する角度 $\phi_a$ が、 $-45^\circ \leq \phi_a \leq 45^\circ$ である請求項16記載の液晶表示装置。

【請求項19】 隣接する画素間で構成される非画素部の光透過率が画素部における光透過率より低い請求項16記載の液晶表示装置。

【請求項20】 非画素部及び画素部周辺部に遮光性物質の層を形成した請求項19記載の液晶表示装置。

【請求項21】 画素部における液晶層の厚みと非画素部における液晶層の厚みを異ならせて、液晶の初期状態を異ならせた請求項19記載の液晶電気光学素子。

【請求項22】 画素部にカラーフィルターの層を配置した請求項16記載の液晶表示装置。

$$(0.78 \leq R \leq 0.96)$$

\* 0、11又は12記載の液晶電気光学素子。

(1)  $0.1 \leq R \leq 0.22$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1$$

(2)  $0.22 < R \leq 0.42$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1, \quad \text{又は} \quad A = -P + \beta_1$$

(3)  $0.42 < R \leq 0.44$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2, \quad \text{又は} \quad A = -P + \beta_1$$

(4)  $0.44 < R < 0.473$ の場合、

$$A = P + \gamma \quad \text{但し} \quad -137.5 \times R - 75 \leq \gamma \leq -60$$

(5)  $0.473 \leq R \leq 0.7$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2 \quad \text{又は} \quad A = P + \alpha_3$$

(6)  $0.7 < R \leq 1.06$ の場合、

$$\begin{aligned} A &= -P + \beta_1 \\ & -75^\circ \leq \alpha_2 \leq -35^\circ \\ & 70^\circ \leq \beta_1 \leq 110^\circ \end{aligned}$$

(3)  $0.42 < R \leq 0.44$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2, \quad \text{又は} \quad A = -P + \beta_1$$

(4)  $0.44 < R \leq 0.7$ の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2 \quad \text{又は} \quad A = P + \alpha_3$$

(5)  $0.7 < R \leq 1.06$ の場合、

$$\begin{aligned} A &= -P + \beta_1 \\ & -70^\circ \leq \alpha_2 \leq -40^\circ \\ & 75^\circ \leq \beta_1 \leq 105^\circ \end{aligned}$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はカイラルネマティック液晶を用いた双安定性を有する液晶電気光学素子、特にその双安定性を用いてスイッチングを行い、単純マトリックス駆動が可能な液晶電気光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、OA機器の表示装置等として実用化されている液晶表示装置は、ツイストネマティック(TN)型液晶もしくはスーパーツイストネマティック(STN)型液晶を用いている。例えば、M. Schadt and W. Helfrich: Appl. Phys. Lett. 18(1971)127, あるいは T. J. Scheffer and J. Nehring: Appl. Phys. Lett. 45(1984)1021. に示されているこれらの表示方式はメモリー効果を持たないため、電圧平均化法による単純マトリックス駆動法または各画素にトランジスタ等のアクティブ素子を設けたアクティブマトリックス駆動法によって駆動される。

【0003】 この他に、まだ実用化されていないが、様々な方式が研究されている。例えば、特開昭 59-219720号、特開昭 60-196728号には電圧平均化法の高速度化技術

等が開示されており、特公平 1-51818号、特公平 3-26368号、特開昭59-58420号には双安定性スイッチングを用いる方式が開示されている。

【0004】TN型やSTN型液晶の単純マトリクスを電圧平均化法によって駆動する場合、走査線の本数をN本とすれば、オンを選択するための電圧 $V_{ON}$ とオフを選択するための電圧 $V_{OFF}$ の比は次式で与えられる。

$$V_{ON}/V_{OFF} = ((N^{1/2} + 1) / (N^{1/2} - 1))^{1/2}$$

この式からわかるように、Nが大きくなるにしたがって $V_{ON}/V_{OFF}$ は1に近づくため、コントラスト比も1に近づいてしまう。現在の液晶の電気光学特性や電圧波形の遅延等を考慮すれば、Nは約500が限度である。したがって、より高精細な表示が要求されるワークステーション等の表示装置をこの方式によって実現することは不可能である。また、表示特性が視角に大きく依存し、さらにオンからオフへのスイッチング時間が長いという欠点も持っている。

【0005】特開昭 60-196728号に開示されている技術は、上記のスイッチング時間を短くすることを目的としている。そこでは、下基板上的プレティルト角（基板上に設けられた液晶配向膜と接している液晶分子のダイレクターベクトルと基板面とのなす角）を $\theta_1$ とし、上基板上的プレティルト角を $\theta_2$ とすれば、初期状態における $\theta_1$ と $\theta_2$ を互いに逆符号の関係にすることによって、オンからオフへのスイッチングを高速化している。そして、特開昭 59-219720号に開示されている技術は、さらにカイラル物質を液晶材料に添加することによって、動作状態の安定化を図っている。しかし、これらの技術は双安定性を持っておらず、電圧平均化法によって駆動されるため、やはり高精細な電気光学素子としては適していない。

【0006】特公平 1-51818号(USP4, 239, 345)には、カイラルネマティック液晶を用いた双安定性を有する液晶電気光学素子が開示されている。その液晶電気光学素子の特徴は、初期状態では $180^\circ$ ねじれているが、電圧を印加した後は初期状態とは異なる二つの状態へ緩和し、その二つの状態は非常に安定である、ということである。その二つの状態のねじれの差は約 $360^\circ$ であり、その二状態間で双安定性スイッチングを行う。その二つの状態は、液晶電気光学素子を二枚の偏光板で挟むことによって光学的に識別することができる。その場合、液晶層の厚さ $d$  ( $\mu\text{m}$ )と液晶の複屈折率 $\Delta n$ との積 $R$ を入射光の波長( $\lambda$ )で割ったもの( $R/\lambda$ )が2以下となるようにすれば、高いコントラスト比が得られると記述されている。

【0007】特公平 3-26368号に開示されている技術は、印加電圧を制御することによって比較的高速の双安定スイッチングを行うものである。しかし、 $35^\circ$ という高いプレティルト角を必要とするため、液晶配向膜を

斜方蒸着によって形成しなければならず、実用的ではない。

【0008】特開昭59-58420号に開示されている技術は、印加電圧を制御することによって書き込むか否かを選択できるが、表示を消去するためには液晶層を等方相まで加熱しなければならない。また、書き込むためには非常に高い電圧が必要である。また、上記高いプレティルト角を必要とする素子や電圧平均化法によって高デューティー比で駆動される液晶表示装置においては、有効視野角が狭いという問題点を有している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】液晶電気光学素子を表示素子として用いる場合、通常は単色光源ではなく、赤、緑、青の3波長光源又は白色光源を用いるため、そのような光源に対してコントラスト比が高く、かつオン状態の光透過率も高いことが要求される。したがって、そのような光源に対して高い表示特性を得るための条件を知る必要がある。

【0010】表示特性を決めるパラメータとしては、液晶材料の複屈折率( $\Delta n$ )、液晶層の厚さ( $d$ )および2枚の偏光板の偏光軸の角度が挙げられる。ところが前記従来技術では、 $R \equiv d \cdot \Delta n$ に関しては、光源として単色光を用いる場合において、 $R/\lambda \leq 2$ とすれば高いコントラスト比が得られるということが記載されているのみであり、高いオン透過率を得るためのRの条件については言及されておらず、偏光軸の角度に関しても記述されていない。一方、白色光を用いる場合の条件に至っては全く議論されていない。また、 $R/\lambda \leq 2$ とすれば高いコントラスト比が得られる、と記述しているにもかかわらず、実施例として挙げられているセルの $R/\lambda$ はいずれも2よりも大きく、しかも光透過率やコントラスト比のデータは全く記載されていない。白色光を用いた我々の追試によれば、二つの準安定状態を光学的に識別することはできたが、表示素子として使用に耐えるような表示特性は得られなかった。

【0011】表示特性を決めるもうひとつのパラメータである偏光軸を最適な角度に設定することは、次に述べるように容易ではない。初期状態の液晶のねじれ角が $180^\circ$ である双安定液晶において、二つの準安定状態のうち一方はねじれ角が $0^\circ$ である一様状態のため、二枚の偏光板をそれぞれある角度に配置したときの光透過率は比較的簡単に求めることができる。しかし、他方の準安定状態はねじれ角が約 $360^\circ$ であり、しかも応答速度を速くするためには液晶層の厚さをなるべく薄くしなければならない。このようにねじれ角が大きく、かつ液晶層の厚さが薄い場合、液晶層へ入射した(白色)直線偏光は楕円偏光となって出射するため、 $360^\circ$ ねじれ状態の透過光スペクトルは簡単には求められない。ところが、Rがある値を持つ場合、偏光軸をどのように設定すればコントラスト比とオン透過率をともに高くできる

か、ということは未だ明らかにされていない。

【0012】本発明は上記課題を解決するためのものであり、その第一の目的とするところは、コントラスト比とオン透過率がともに高い表示素子として十分な表示特性を有するカイラルネマチック液晶を用いた双安定性液晶電気光学素子を提供するところにある。

【0013】本発明の液晶電気光学素子においては、初期状態および2つの準安定状態それぞれの安定性は液晶層の厚さ $d$ と液晶固有の螺旋ピッチ $p_0$ の比( $d/p_0$ )に左右される。初期状態のねじれ角を $\phi_r$ とした場合、 $0.5\phi_r/360^\circ \leq d/p_0 \leq 1.5\phi_r/360^\circ$ 。

なる条件を満たすことによって初期状態における所望の配向状態を実現できる。しかし、駆動電圧波形を印加して得られる2つの準安定状態に関しては、

$$d/p_0 \sim 0.5\phi_r/360^\circ$$

の条件下では、ねじれ角が略( $\phi_r + 180^\circ$ )の準安定状態が不安定になり、逆に、

$$d/p_0 \sim 1.5\phi_r/360^\circ$$

においては、ねじれ角が略( $\phi_r - 180^\circ$ )の準安定状態が他方に比べて不安定になる。このように2つの準安定状態の安定性がアンバランスな条件で液晶表示装置を駆動しようとする、不安定な状態を選択するにあたってはより大きなエネルギーを要するため駆動電圧が高くなったり、長い期間に亘ってパルス電圧を印加しなければならない等の問題が生ずる。更に選択された不安定な準安定状態は初期状態へ緩和するまでの時間(メモリ保持時間)が短いので、表示装置の走査電極数が多い場合には非選択期間内に緩和が起こり、表示品位を損ねることになる。

【0014】また、基板界面と液晶分子のダイレクターベクトルのなす角(プレティルト角)も2つの準安定状態の安定性のバランスに影響を及ぼす。発明者らの実験結果によればプレティルト角が必要以上に大きくなるにつれてねじれ角略( $\phi_r + 180^\circ$ )の配向の安定性が低下する事が解っている。このような状態で表示装置を駆動すれば上述と同様の問題が生ずる。加えて、プレティルト角が大きくなると表示状態の有効視野角が狭くなるという問題点も生ずる。

【0015】さらに、双安定性あるいは複数の安定状態を有する動作モードでは、表示に使用する配向状態がエネルギー的に充分安定でない場合が多く、基板の表面状態や形状の局所的な変位を原因として複数の配向状態が混在し、表示品位を損なうという問題点を有している。

【0016】本発明に関する液晶表示モードにおいては、透明電極のエッジ部分に形状効果が生じ、特に駆動電圧波形を印加してねじれ角略( $\phi_r + 180^\circ$ )に準安定状態を選択した場合に、上記エッジ部分にねじれ角略( $\phi_r - 180^\circ$ )がドメイン状に発現してコントラスト比を低下させるという問題点がある。この傾向は走

査電極と信号電極の交差部が構成する画素部の任意の一边と基板界面に施されたラビング処理の方向が一致する場合に最も顕著である。

【0017】上記従来技術の問題点にかんがみ、本願発明の第2の目的は、双安定性を有する液晶電気光学素子において、表示特性の視野角依存性が小さく、走査線数の多い高精細な液晶表示装置を提供するところにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本願発明は、一対の偏光板間に有する一対の基板の対向する各内面に電極、配向膜が設けられ、かつカイラルネマティック液晶が挟持され、カイラルネマティック液晶は、各配向膜に施されたラビング方向がなす角 $\phi_r$ に対して、電圧を印加する前の初期状態におけるねじれ角が略 $\phi_r$ となるように固有のらせんピッチ $p_0$ が調整され、前記初期状態において、各配向膜と接している液晶分子のダイレクターベクトルと基板面とのなす角は互いに逆符号の関係にあり、前記初期状態にパルス電圧を印加した後の緩和状態として液晶のねじれ角が略( $\phi_r + 180^\circ$ )と略( $\phi_r - 180^\circ$ )である2つの準安定状態を有し、カイラルネマティック液晶層の厚さ $d$ ( $\mu\text{m}$ )と見かけ上の複屈折率 $\Delta n$ の積 $R(d \cdot \Delta n)$ 及び $\phi_r$ の値に応じて、各偏光板の偏光軸と一方のラビング方向との各角度 $P$ 、 $A$ とを、上記準安定状態間のコントラスト比が2以上になるように相互に設定することを特徴とする双安定状態を持つ液晶電気光学素子である。

【0019】本願発明のカイラルネマティック液晶は、緩和状態として初期状態とは異なる2つの準安定状態を持つものであり、例えば初期状態がねじれ角 $180^\circ$ のねじれ構造を有するとすれば、それにフレデリクス転移を生じさせるに十分な絶対値の電圧パルスを印加した場合、準安定状態として、一方はねじれ角 $0^\circ$ (ユニフォーム状態)、他方はねじれ角 $360^\circ$ の構造を有する。フレデリクス転移後にいずれの準安定状態に移行するかは、その後に印加するパルス電圧の波形及び絶対値に依存し、準安定状態はいずれも自発的に初期状態へ緩和する性質を有する。

【0020】初期状態におけるねじれ角 $\phi_r$ は $180^\circ$ に限らず、任意の角度に設定可能である。例えば、初期状態においてねじれ角 $\phi_r$ を $90^\circ$ とすれば、フレデリクス転移後の2つの準安定状態は、 $\phi_r \pm 180^\circ$ のねじれ角、すなわち、 $-90^\circ$ 、 $270^\circ$ のねじれ構造を有し、それらの準安定状態間においてスイッチングが可能であることが実験上確認されている。準安定状態のねじれ角 $\phi_r \pm 180^\circ$ は厳密な数字を示すものではなく、略 $\phi_r \pm 180^\circ$ を含むものである。らせんピッチ $p_0$ は、液晶層の厚さが無限大のときに形成される液晶の固有のらせんピッチが調整される。

【0021】本願発明の液晶電気光学素子を液晶表示装置に応用した場合の構造の断面図を図1に示す。同図に



において、符号21はカイラルネマティック液晶の液晶層、2は上下の配向膜、3は上下の絶縁膜 $\text{SiO}_2$ 、4は上下の透明電極、5は上下のガラス基板、6はスペーサーとしてのシール部材、7は上下の偏光板、19は下側配向膜上に施されたラビング方向、20は上側配向膜上に施されたラビング方向を示す。同図においては、ラビング方向19、20は互いに反平行( $\phi_r = 180^\circ$ )に施されており、シール部材6を介して重ね合わせた2枚の基板5の間にカイラルネマティック液晶21が封入されている。

【0022】液晶層21は、図2に示すように、液晶分子1がプレティルト角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ で上下の配向膜2に接している。前記初期状態において、基板上に設けられた液晶配向膜と接している液晶分子のダイレクターベクトルと基板面とのなす角は、一方は $\theta_1$ 、他方は $\theta_2$ であり、互いに逆符号の関係にある。すなわち、カイラルネマティック液晶の初期状態のねじれ角が $180^\circ$ とすれば、上記の2つのダイレクターベクトルは互いに略反平行となる。

【0023】前記下側基板5側に施したラビング処理の方向をx軸、前記基板の法線方向をz軸として、x軸方向を基準とした角度の測り方は、z軸方向に観察した前記カイラルネマティック液晶のねじれの向きが時計回りならば時計回りに、反時計回りならば反時計回りに測定する。P、Aは、前記下側基板7側に設けた下側偏光板7と上側基板5側の偏光板7の偏光軸のそれぞれの角度である。図3は、z軸方向へ観察した場合、液晶のらせん構造が時計回りであるとき、一方のラビング方向xと矢印で示す偏光軸との角をPと定義した状態を示す。上側偏光板の偏光軸とラビング方向とのなす角度Aについても同様の測定を行う。この場合P(A)と $P(A) \pm n\pi$ (nは整数)は互いに等価である。

【0024】本発明の液晶表示装置は、印加電圧波形に依存して生じる2つの準安定状態間を選択的にスイッチングするものである。本発明者は、選択された準安定状態が自発的に初期状態に緩和するまでの時間(メモリー保持時間)が $d/p_0$ に依存することを実験により確認し、その結果を統計的に取り扱う事によって、初期状態の液晶のねじれ角 $\phi_r$ が $180^\circ$ であれば、

$$0.8\phi_r/360^\circ \leq d/p_0 \leq 1.4\phi_r/360^\circ$$

なる条件下で表示装置として実用的なメモリー保持時間が得られることを発見した。ここで言う「表示装置として実用的なメモリー保持時間」とは、1ライン当たりの選択に要する時間×走査線数に等しいか、より長い時間を意味し、特公平1-51818号に記述されている様な永続的に存在するという意味での双安定性とは性質を異にするものである。また、同公報に開示された技術においては、プレティルト角について $2.5^\circ$ 乃至 $4.5^\circ$ を推奨しているが、本発明では、 $1^\circ$ 乃至 $2.5^\circ$ すなわち有機配

向膜にラビング処理を施すという簡便法によって可能な角度範囲内において上記条件式を適用すれば所望の効果を實現できる。 $\phi_r$ が $180^\circ$ 以外のねじれ角を有する場合についても、同様に適切な $d/p_0$ を設定して、螺旋ピッチを調整することが可能である。

【0025】双安定性あるいは複数の安定状態を有する動作モードでは、表示に使用する配向状態がエネルギー的に充分でない場合が多く、基板の表面状態や形状の局所的な変位を原因として複数の配向状態が混在し、表示品位を損なうという問題点を有している。この問題点は、上下の基板における走査電極と信号電極の交差部が構成する画素の任意の辺とラビング方向のなす角を $\phi_0$ とすると、上下各々の基板において、

$$10^\circ \leq \phi_0 \leq 80^\circ$$

なる条件を満たす場合に、広視野角を維持しながら単純マトリックス方式で走査線数の多い高精細表示ができ、かつ表示画素内に不良ドメインが発生する現象を防止し、均一な表示特性が得られる。

【0026】観察者から見た前記液晶表示装置の上下方向と少なくとも一方の基板に施されたラビング方向とのなす角 $\phi_a$ が、

$$-45^\circ \leq \phi_a \leq 45^\circ$$

である場合は、有効視野角を拡大することができる。

【0027】上記のような双安定性あるいは複数の安定状態を有する動作モードでは、特に電界の印加によってスイッチングを行うものにおいて、電極が片側基板にのみ形成された非画素部(画素間)の配向制御が不可能である場合が多く、暗状態を選択したエリアに光漏れを生じてコントラスト比を低下させるという問題点がある。これに対しては、非画素部における光透過率を画素部よりも低くするとよく、非画素部に遮光性物質の層を形成することが考えられる。もしくは、非画素部における液晶層の厚さ $d_0$ を、

$$d_0/p_0 \geq 0.75$$

とし、非画素部における液晶のねじれ角を調整して非画素部における光透過率が初期状態の画素部における光透過率よりも低くすればよい。

【0028】

【作用】本願発明は、双安定状態を有するカイラルネマチック液晶をその双安定状態間をスイッチングすることによって、マルチプレックス駆動をすることができる。初期状態のねじれ角 $\phi_r$ と、 $R = d\Delta n$ をパラメータとした場合、本願の目的は、そのパラメータの値に応じて、偏光板の偏光軸とラビング方向とのなす角度P、Aを適宜設定することにより達成されることを実証した。角度P、Aの最適値は相互に依存性を有し、その関係は、 $\phi_r$ 、Rによって大きく影響されることが確認された。

【0029】モーガンの条件は、カイラルネマティック液晶のらせん軸方向に直線偏光が入射するとき、伝搬光

10

20

30

40

50

の偏光軸が液晶分子のねじれに追従して回転するための条件である。配向処理された2枚の基板間に封入された液晶のらせんピッチを $p'$ 、異常光と常光に対する液晶の屈折率をそれぞれ $n_e$ 、 $n_o$  ( $\Delta n = n_e - n_o$ )、光の波長を $\lambda$ とすれば次式で表される。

$$p' \cdot \Delta n \gg \lambda$$

本願発明の双安定状態を持つ液晶においては、 $p'$  は  $2\pi d / (\phi_r + 180^\circ)$  又は  $2\pi d / (\phi_r - 180^\circ)$  の絶対値をもつ。 $\pi$  は角度  $180^\circ$  である。上記のモーガンの条件を満足するように各パラメータを設定した液晶セルにおいては、一方の基板に接している液晶分子の配向方向  $n_1$  と平行 (又は垂直) に偏光軸を持つ直線偏光を入射させると、その偏光軸は液晶分子配向のねじれに追従して回転し、他方の基板に接している液晶分子の配向方向  $n_2$  と平行 (又は垂直) に偏光した直線偏光となって出射する。そして、 $n_1$  に対して平行 (又は垂直) 以外の方向に偏光軸を持つ直線偏光を入射させた場合には、楕円偏光となって出射する。広く用いられているTN型液晶表示装置は、垂直配向状態とモーガンの条件を満足するねじれ状態との間でスイッチングを行っている。そのねじれ角は  $90^\circ$  であり、 $p' \cdot \Delta n$  の最適値はおよそ  $1.88 \mu\text{m}$  ( $p' \approx 20 \mu\text{m}$ 、 $\Delta n \approx 0.094$ ) である。そこでは2枚の偏光板をその偏光軸がそれぞれ  $n_1$  と  $n_2$  に対して平行 (又は垂直) になるように設置することによって非常に高いコントラスト比とON透過率を得ることができる。

【0030】本発明で用いられる双安定性液晶表示装置の表示特性とモーガンの条件との関係については上記のことがあてはまらない。本願発明において、初期配向状態でのねじれ角を  $\phi_r$  とすれば、ねじれ角が  $\phi_r + \pi$  と  $\phi_r - \pi$  という2つのねじれ状態間でスイッチングが行われる。ねじれ角の絶対値が大きい方のねじれ状態を  $S^+$ 、他方を  $S^-$  と呼ぶことにする。ここで、 $S^+$  と  $S^-$  が共にモーガンの条件を満足するように各パラメータを設定し、2枚の偏光板をその偏光軸がそれぞれ  $n_1$  と  $n_2$  に対して平行 (又は垂直) になるように設置したならば、 $S^+$  と  $S^-$  を光学的に区別することはほとんどできない。なぜなら、 $S^+$  の  $n_1$ 、 $n_2$  はそれぞれ  $S^-$  の  $n_1$ 、 $n_2$  と一致しているため、 $S^+$  の出射光も  $S^-$  の出射光も同じ方向に偏光した直線偏光となってしまうためである。また、2枚の偏光板をその偏光軸がそれぞれ  $n_1$ 、 $n_2$  に対して平行 (又は垂直) 以外になるように設置した場合は、光学的に区別することはできるが表示素子としての実用に耐えるほどの表示特性は得られない。以上のことは  $\phi_r$  の値とは関係がない。

【0031】一方、例えば  $S^+$  がモーガンの条件を満足しない場合は次のようになると考えられる。但し、最も優れた表示特性が得られると期待される  $\phi_r$  が略  $180^\circ$  の場合について説明する。以下、 $L$  は  $S^+$  でのらせんピッチである。

(1)  $L \cdot (n_e - n_o)$  が  $\lambda$  よりも十分小さい場合、 $S^+$  は等方的ではあるが  $1 \mu\text{m}$  あたり数度の旋光能を持つ光学活性媒質として振る舞う (de Gennes, P.C. The Physics of Liquid Crystals, p.226 Oxford University Press (1974))。旋光角を  $\phi_{\text{rot}}$  としたとき、2枚の偏光板の偏光軸が互いになす角度  $\phi_{12}$  を  $90^\circ + \phi_{\text{rot}}$  とすれば、 $S^+$  の光透過率は最小になることは明らかである。

【0032】一方、 $S^-$  のねじれ角は約  $0^\circ$  である。但し、カイラルネマティック液晶は固有のねじれを持っているため、 $\phi_r = 180^\circ$  であっても  $S^-$  のねじれ角は厳密には  $0^\circ$  ではない。しかし、ねじれ角が余り大きくなければ、言い換えれば  $\phi_r \approx 180^\circ$  という条件下では  $S^-$  はねじれの無い複屈折性媒質とみなしてよいであろう。そこで、 $\phi_{12} = 90^\circ + \phi_{\text{rot}}$  という条件の下で  $S^-$  の光透過率を高くするためには、一方の偏光板の偏光軸方向と  $S^-$  での液晶分子の平均的な配向方向とのなす角 ( $\phi_n$ ) を約  $45^\circ$  に設定すれば、非常に高いコントラスト比とON状態の明るさが得られるはずである。

(2)  $L \cdot (n_e - n_o)$  は  $\lambda$  よりも大きいけれどもモーガンの条件を満足するほどは大きくない場合、この場合、 $\phi_n = 0^\circ$  であっても  $S^+$  の出射光は楕円偏光となり、楕円の長軸方向は  $n_2$  とは一致しない。したがって、例えば  $\phi_n = 0^\circ$ 、 $\phi_{12} = 90^\circ$  とすれば高いコントラスト比とON状態の明るさが期待できる。

(3)  $L \cdot (n_e - n_o)$  が上記の (1) と (2) の中間の値の場合、

この場合は、(1) と (2) の中間の表示特性が期待できるはずである。 $\phi_r$  が  $180^\circ$  から大きくずれている場合の表示特性を想像することは容易ではない。しかし、モーガンの条件を満足していなければ、 $S^+$  と  $S^-$  での出射光の偏光状態がほとんど同じになって光学的に区別し難い、ということは避けられるであろう。

#### 【0033】

【実施例】実施例で用いた液晶電気光学素子の断面図を図1に示す。上側基板5と下側基板5の各々に透明電極4、絶縁膜  $\text{SiO}_2$  3と液晶配向膜2を形成し、さらにラビングを施した。液晶配向膜2としてはポリイミドを用いた。そして、初期配向状態を例えば  $\phi_r = 180^\circ$  とするならば、図示したようにラビング方向19、20が互いに反平行になるように、スペーサー6を介して2枚の基板5を重ね合わせる。また、 $\phi_r = 90^\circ$  とするならば、ラビング方向が互いに  $90^\circ$  の角をなすように2枚の基板を重ね合わせる。この2枚の基板間にカイラルネマティック液晶21を封入し、偏光板7を配置して液晶電気光学素子を作成した。この液晶電気光学素子を反射型で使用する場合には、上側偏光板7または下側偏光板7の外側に反射板を設置すればよい。液晶材料はいずれも正の誘電率異方性  $\Delta\epsilon$  を示す市販のネマティック液晶にらせん構造を誘起する光学活性物質を添加して p

0 を調整した。光学活性物質としては、実施例1～7ではE. Merck社製R-811を用い、実施例8以降では同社製S-811を用いた。

【0034】ここまでの $\Delta n$ は見かけの $\Delta n$ を意味しているが、以下の実施例では液晶固有の $\Delta n$ を用いている。なぜならば、プレティルト角は一般的には $1^\circ \sim 5^\circ$ であるため、ねじれがない配向状態での見かけの $\Delta n$ と液晶固有の $\Delta n$ とはほぼ等しいとみなして良いためである。但し、プレティルトが大きい場合には、液晶固有の $\Delta n$ と見かけの $\Delta n$ は大きく異なるため、見かけの $\Delta n$ を用いなければならない。さらに電圧を印加せずにメモリー状態で表示を行う場合と電圧を印加した状態で表示を行う場合とでは液晶の配向状態が異なるため、見かけの $\Delta n$ の値も異なるはずである。しかし、電圧は1ボルト前後であるため、電圧印加時と電圧無印加時での見かけの $\Delta n$ の差はわずかであり、その差は無視してよいと考えられる。したがって、本来ならば表示動作中の平

均的な見かけの $\Delta n$ を用いるべきではあるが、以下の実施例では液晶固有の $\Delta n$ を用いた。上述したように、大きなプレティルトを与えるような配向処理を行ったり、配向分布が大きく変形するような高い電圧を印加して表示する場合には、以下の $\Delta n$ と $R (=d \cdot \Delta n)$ を表示動作中の平均的な見かけの値に置き換えなければならない。

【0035】液晶層の $R$ を種々の値に設定するため、 $\Delta n$ が異なる数種類の液晶材料を用い、液晶層の厚さは $1.7 \mu m$ から $25.0 \mu m$ の間に設定した。液晶材料の $\Delta n$ と、その液晶材料を用いた実施例の番号を以下の表1に示す。プレティルト角は、液晶材料、配向膜、ラビング処理方法によって異なるが、実施例1～7においてはおよそ $1^\circ \sim 5^\circ$ であった。

【0036】

【表1】

表 1

液晶材料	$\Delta n$	実施例
ZLI-4119	0.06	1-1
ZLI-4262	0.10	1-2~9, 1-12, 1-15, 1-26~27, 2-1~2, 3-1~2, 4-1~2, 5-1~2, 6, 7
ZLI-1370	0.14	1-10, 1-14, 2-4~5, 3-4~5, 4-4~5, 5-4~5
ZLI-2140-000	0.15	1-13
ZLI-4454-000	0.159	1-16~19, 1-21~22, 2-3, 3-3, 4-3, 5-3
ZLI-4155	0.186	1-11, 1-24
ZLI-5049-000	0.208	1-20, 1-23, 1-25,

【0037】モーガンの条件を満足するかどうかの評価は、2つの準安定状態のうち、ねじれ角が大きい方の準安定状態の螺旋ピッチ $L$ 、液晶の $\Delta n$ および光の波長

(380nm~780nm)を用いて行った。初期状態

のねじれ角 $\phi_r$ と $L$ との間には次の関係がある。

$$L = \{2\pi / (\phi_r + \pi)\} \cdot d$$

モーガンの条件を示す不等式の左辺( $L \cdot \Delta n$ )と $R$ との間には、

$$L \cdot \Delta n = 2\pi \cdot R / (\phi_r + \pi)$$

の関係がある。従って、 $L \cdot \Delta n$ の値に応じて偏光軸方向を設定することは、 $R$ と $\phi_r$ の値に応じて偏光軸方向を設定することにほかならない。 $\phi_r = 180^\circ$ の場合のみ、 $L \cdot \Delta n$ は $S^-$ のレタデーションと等しい。

【0038】下側基板5に施したラビング方向19を $x$ 軸とする。実施例1~7では、基板法線方向( $z$ 軸方向)に観察したらせん構造は右ねじれ時計回りであるため、下側偏光板7の偏光軸の角度 $P$ を図3に示したように定義することにする。言うまでもなく、 $P$ と $P \pm n\pi$ (但し $n$ は整数)は互いに等価である。 $A$ についても同様である。また、 $P$ と $A$ に同時に $\pm n\pi/2$ を加えた場合と加えなかった場合とは互いに等価である。例えば、 $(P, A) = (160^\circ, 50^\circ)$ と、 $(P, A) = (70^\circ, 140^\circ)$ はいずれも同じ表示特性を与える。

【0039】液晶のねじれ角が各々ほぼ $360^\circ$ と略 $0^\circ$ である2つの準安定状態間のスイッチングは、図4に

示したような電圧波形を印加することによって行った。略0°の準安定状態は光学的に等方相である。等方相とは、複屈折率やRが厳密には零でなく極めて小さい値を有する場合であっても光学的には等方相とみなすことができる場合を含むものである。そして、PとAをいろいろな角度に設定して360°および0°ねじれ状態の光透過率を測定し、コントラスト比を算出した。測定には、オリンパス社製偏光顕微鏡BH-2及びそれに附属された白色光源を用いた。但し、使用した偏光板の光透過率は約48%である。

【0040】反射型での表示特性は、透過型での表示特性を用いて次のようにして評価することができる。図1に示した透過型の液晶表示装置において、下側偏光板の下に反射板を設置して反射型で使用する場合を考える。強度 $I_0$ の光が上側偏光板から入射し、強度 $I_a$ の光が反射してくるとする。上側偏光板を透過して液晶層へ入射する光の強度 $I_a$ とし、さらに下側偏光板を透過した光の強度を $I_b$ とする。反射板で反射されて下側偏光板へ再び入射する光も $I_b$ である。そして、下側偏光板を透過して液晶層へ再び入射する光の強度を $I_c$ とする。上側偏光板を透過して出てくる光（反射光）の強度は $I_d$ である。 $I_d$ と $I_c$ の比は $I_b$ と $I_a$ の比と等しいため、次の式が成り立つ。

$$I_d = I_c \cdot I_b / I_a \quad (1)$$

つぎに、偏光していない光に対する偏光板の光透過率を $x$ 、偏光板の光透過軸と平行に偏光した直線偏光に対する偏光板の光透過率を $y$ とすれば、 $I_a$ と $I_c$ は次のように書くことができる。

$$I_a = x \cdot I_0 \quad (2)$$

$$I_c = y \cdot I_b \quad (3)$$

(2)式と(3)式を(1)式へ代入すれば、

$$I_d = (I_b^2 / I_0) \cdot (y / x)$$

が得られる。ここで、厳密には $y \neq 1$ であるが $y = 1$ と近似し、さらにON状態とOFF状態での光強度をそれぞれ(ON)と(OFF)という添え字で区別することになれば、反射型でのコントラスト比は次の式で与えられる。

$$C. R. = I_a (ON) / I_d (OFF) \\ = (I_b (ON) / I_b (OFF))^2$$

このようにして、反射型での反射率 $I_d / I_0$ とコントラスト比は透過型での透過率 $I_b / I_0$ とコントラスト比から求めることができる。

【0041】(実施例1)  $\phi_r = 180^\circ$ の場合、

(1-1)  $R = 0.102$ の場合、光学活性物質R-811(メルク社製)をメルク社製ZLI-4119( $\Delta n = 0.060$ )に適量添加して $\phi_r$ がほぼ $180^\circ$ となるようにらせんピッチ $P_0$ を調整した。液晶層厚 $d$ は $1.7 \mu m$ とした。 $L = d = 1.7 \mu m$ であり、 $d / P_0 \approx 0.5$ である。 $L \cdot \Delta n$ と波長との関係は次のようになる。

$$L \cdot \Delta n = 0.102 < \lambda (0.38 \sim 0.78)$$

したがって、モーガンの条件は満足されていない。いろいろなPとAの組み合わせに対する360°ねじれ状態と0°ねじれ状態の光透過率 $I^+$ と $I^-$ 及びコントラスト比CR(小数点以下第3位四捨五入で表示)を表2に示す。

【0042】

【表2】

表 2

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	135	45	0.08	18.18	232.40	o	o
2	50	-40	0.08	17.62	223.53	o	o
3	35	-55	0.08	16.04	204.23	o	o
4	155	65	0.08	10.66	138.45	o	o
5	70	-30	0.86	11.33	13.18	o	o
6	30	-70	0.86	11.33	13.18	o	o
7	50	-60	4.34	20.62	4.75	*	o
8	70	-50	10.10	22.70	2.25	*	o
9	60	-70	17.42	28.86	1.66	*	o
10	60	20	28.95	17.64	1.64	*	o
11	40	40	46.18	28.68	1.61	*	o
12	45	55	44.19	27.71	1.59	*	o
13	35	65	33.15	21.25	1.56	*	o
14	20	20	46.17	38.62	1.20	*	*
15	30	10	41.94	35.72	1.17	*	*
16	60	80	39.67	35.35	1.12	*	*
17	80	-80	39.68	42.96	1.08	*	*

$d = 1.7$ ,  $L = 1.70$ ,  $L \cdot dn = 0.102$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0043】光透過率は偏光板へ入射する光を基準としている。また、同表の下には、 $L \cdot \Delta n$ と波長(W.L.)およびdとLの値も記した。但し、各PとAの組み合わせのうちTとRの欄の両方に\*が記されているものは、比較例として挙げたものである。すなわち、No. 1～No. 13の組み合わせが実施例であり、No. 14～No. 17の組み合わせは比較例である。TとRの意味は次の通りである。T欄の「o」はその組み合わせが透過型表示素子として充分使用可能であり、R欄の「o」は反射型表示素子として充分使用可能である、ということを示している。R=0.102の場合、No. 1～No. 6の組み合わせは透過型としても、反射型としても使用可能である。そして、No. 7～No. 13の組み合わせは透過型としては不十分である。しかし、反射型で使用する場合はコントラスト比よりもオン

状態の明るさが重視されるため、反射型としてならば使用可能である。反射型でのコントラスト比としては、少なくとも1:2あればよいであろう。従って、透過型として測定したコントラスト比が1:1.4ならば反射型として十分である。比較例として挙げたNo. 14～No. 17の組み合わせは透過型としても反射型としても使用不能である。実際に反射板を設置して、反射型として使用に耐えるかどうかを肉眼で評価した結果を図5に示す。PとAを図の陰影をつけた範囲内で組み合わせれば使用に耐えることがわかった。以下、種々のRに対する結果を示すが、それらの表の見方は同じである。

【0044】(1-2) R=0.16の場合、この結果を表3に示す。

【0045】

【表3】

表 3

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	45	-45	0.23	28.52	125.16	0	0
2	50	-40	0.23	27.66	121.40	0	0
3	40	-50	0.23	27.66	121.40	0	0
4	50	-50	0.53	28.83	54.02	0	0
5	50	50	45.91	18.80	2.44	*	0
6	55	55	45.91	21.28	2.16	*	0
7	30	20	45.60	29.29	1.56	*	0
8	60	70	43.48	28.94	1.50	*	0
9	60	-80	24.03	35.07	1.46	*	0
10	40	10	37.26	25.78	1.45	*	0
11	60	80	38.60	32.14	1.20	*	*
12	20	10	45.60	38.83	1.17	*	*
13	80	-80	38.60	44.03	1.14	*	*
14	80	80	45.92	43.24	1.06	*	*
15	0	20	38.59	40.35	1.05	*	*
16	0	0	45.90	46.22	1.01	*	*
17	90	80	45.63	45.46	1.00	*	*

$d = 1.6$ ,  $L = 1.60$ ,  $L \cdot dn = 0.160$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0046】(1-3)  $R = 0$ . 2の場合、この結果を \* 【0047】  
表4に示す。 \* 【表4】

表 4

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	50	-50	0.24	37.80	160.17	0	0
2	45	-55	0.24	36.60	155.08	0	0
3	55	-45	0.24	36.60	155.08	0	0
4	40	-60	0.24	33.30	141.10	0	0
5	60	-40	0.24	33.30	141.10	0	0
6	65	-25	0.53	22.10	41.54	0	0
7	50	40	45.80	8.85	5.18	*	0
8	20	70	14.50	2.96	4.90	*	0
9	40	40	45.50	9.98	4.56	*	0
10	30	40	42.50	12.70	3.35	*	0
11	160	30	14.50	39.50	2.72	*	0
12	70	50	43.40	17.70	2.45	*	0
13	40	-20	16.10	36.20	2.25	*	0
14	50	-80	14.50	31.20	2.15	*	0
15	90	30	16.10	12.30	1.31	*	*
16	60	0	16.10	12.30	1.31	*	*
17	0	20	37.20	40.60	1.09	*	*

$d = 2.0$ ,  $L = 2.00$ ,  $L \cdot dn = 0.200$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0048】(1-4)  $R = 0$ . 22の場合、この結果を \* 【0049】  
を表5に示す。 \* 【表5】

表 5

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	50	-50	0.13	42.49	332.60	o	o
2	60	-40	0.13	37.51	293.87	o	o
3	40	-60	0.13	37.51	293.87	o	o
4	30	-70	0.13	24.91	195.49	o	o
5	80	-20	0.13	10.62	83.33	o	o
6	130	40	0.78	41.23	52.54	o	o
7	35	-75	2.34	25.18	10.76	o	o
8	50	40	47.91	5.67	8.45	*	o
9	50	50	47.22	6.89	6.85	*	o
10	160	40	7.25	38.32	5.28	*	o
11	30	40	43.85	10.09	4.35	*	o
12	40	-80	7.18	25.76	3.59	*	o
13	140	70	10.10	32.97	3.26	*	o
14	20	-50	10.19	33.01	3.24	*	o
15	0	20	38.11	42.01	1.10	*	*
16	20	0	45.87	42.94	1.07	*	*
17	90	80	47.75	46.72	1.02	*	*

$d = 2.2$ ,  $L = 2.20$ ,  $L \cdot dn = 0.220$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0050】(1-5)  $R = 0$ . 24の場合、この結果 \* 【0051】  
を表6に示す。 \* 【表6】

表 6

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	50	-50	0.06	42.66	658.13	o	o
2	45	-55	0.06	41.41	640.21	o	o
3	55	-45	0.06	41.41	640.21	o	o
4	40	-60	0.06	37.79	588.01	o	o
5	60	-40	0.06	37.79	588.01	o	o
6	30	-70	0.06	25.32	402.85	o	o
7	40	50	42.68	2.46	17.37	o	o
8	30	50	36.52	3.40	10.75	o	o
9	60	-60	6.28	42.92	6.84	*	o
10	40	-30	10.53	42.17	4.01	*	o
11	45	-25	10.53	38.55	3.66	*	o
12	60	-70	12.76	42.01	3.29	*	o
13	20	-40	18.01	39.01	2.17	*	o
14	80	80	46.59	40.37	1.15	*	*
15	20	0	45.52	40.53	1.12	*	*
16	0	20	36.49	39.84	1.09	*	*
17	90	80	47.62	44.07	1.08	*	*

$d = 2.4$ ,  $L = 2.40$ ,  $L \cdot dn = 0.240$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0052】(1-6)  $R = 0$ . 28の場合、この結果 【0053】  
を表7に示す。 40 【表7】



表 7

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	50	-50	0.10	46.10	443.27	o	o
2	40	-60	0.10	40.70	402.97	o	o
3	60	-40	0.10	40.70	402.97	o	o
4	25	-75	0.09	19.10	218.54	o	o
5	75	-25	0.09	19.10	218.54	o	o
6	60	30	41.40	0.50	83.13	o	o
7	50	40	46.00	0.62	74.55	o	o
8	80	20	20.40	1.66	12.29	o	o
9	160	30	10.50	44.90	4.28	*	o
10	60	-70	10.60	44.90	4.24	*	o
11	65	55	46.00	12.00	3.83	*	o
12	40	20	45.00	12.00	3.75	*	o
13	40	-30	12.70	44.80	3.53	*	o
14	140	-20	33.40	12.00	2.78	*	o
15	20	-10	41.40	45.00	1.09	*	*
16	10	10	44.20	41.10	1.08	*	*
17	90	80	46.00	45.00	1.02	*	*

$d = 2.8$ ,  $L = 2.80$ ,  $L \cdot dn = 0.280$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0054】(1-7)  $R = 0.32$  の場合、この結果 \* 【0055】  
を表8に示す。 \* 20 【表8】

表 8

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	80	10	15.10	0.07	220.12	o	o
2	50	-50	0.49	43.90	89.78	o	o
3	60	-50	0.53	43.10	81.78	o	o
4	40	-60	0.48	38.90	81.38	o	o
5	160	-70	30.90	0.59	52.46	o	o
6	75	-25	0.44	18.50	42.53	o	o
7	70	10	23.00	1.53	15.03	o	o
8	120	40	8.34	38.20	4.58	*	o
9	85	-45	8.43	27.60	3.27	*	o
10	40	10	43.00	19.40	2.22	*	o
11	80	50	43.00	19.40	2.22	*	o
12	50	-20	15.20	32.40	2.13	*	o
13	0	10	38.00	45.20	1.19	*	*
14	20	0	45.70	40.30	1.13	*	*
15	90	-90	43.10	46.30	1.07	*	*
16	10	10	43.10	41.20	1.05	*	*
17	90	80	45.80	44.60	1.03	*	*

$d = 3.2$ ,  $L = 3.20$ ,  $L \cdot dn = 0.320$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0056】(1-8)  $R = 0.36$  の場合、この結果 40 【0057】  
を表9に示す。 【表9】

表 9

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	55	-55	0.36	39.37	108.63	0	0
2	45	-65	0.33	35.06	104.81	0	0
3	65	-45	0.33	35.06	104.81	0	0
4	75	-35	0.26	24.18	91.59	0	0
5	75	15	25.88	1.02	25.45	0	0
6	70	10	25.88	2.11	12.26	0	0
7	80	20	25.89	2.12	12.20	0	0
8	40	-40	10.77	36.57	3.40	*	0
9	50	10	39.92	12.91	3.09	*	0
10	80	40	39.95	12.98	3.08	*	0
11	40	20	46.06	16.21	2.84	*	0
12	70	-80	20.44	44.51	2.18	*	0
13	40	-30	18.10	35.63	1.97	*	0
14	45	-25	18.09	32.46	1.79	*	0
15	10	0	45.26	43.68	1.04	*	*
16	80	80	41.58	41.92	1.01	*	*
17	20	-20	40.10	40.19	1.00	*	*

$d = 3.6$ ,  $L = 3.60$ ,  $L \cdot dn = 0.360$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0058】(1-9)  $R = 0$ . 4の場合、この結果を \* 【0059】  
表10に示す。 \* 【表10】

表 10

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	85	5	13.14	0.02	709.01	0	0
2	55	-55	0.70	31.83	45.49	0	0
3	60	-60	1.51	34.68	22.90	0	0
4	80	-40	1.31	23.40	17.92	0	0
5	70	-70	10.76	40.68	3.78	*	0
6	75	-75	18.06	43.10	2.39	*	0
7	90	40	36.31	16.21	2.24	*	0
8	50	0	36.00	16.49	2.18	*	0
9	60	-90	17.92	36.37	2.03	*	0
10	90	-60	17.92	36.37	2.03	*	0
11	40	10	44.99	23.00	1.96	*	0
12	30	-50	13.53	24.52	1.81	*	0
13	60	60	39.66	24.83	1.60	*	0
14	0	0	39.62	47.33	1.19	*	*
15	10	-10	45.94	43.11	1.07	*	*

$d = 4.0$ ,  $L = 4.00$ ,  $L \cdot dn = 0.400$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0060】(1-10)  $R = 0$ . 42の場合、この結 40 【0061】  
果を表11に示す。 【表11】

表 11

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	175	-85	0.04	14.96	374.00	o	o
2	55	-65	31.59	1.35	23.40	o	o
3	170	-80	1.00	22.84	22.84	o	o
4	45	-75	26.55	1.19	22.31	o	o
5	90	-30	15.07	0.83	18.16	o	o
6	5	65	12.00	0.74	16.22	o	o
7	105	-15	10.00	0.64	15.63	o	o
8	70	-20	15.75	3.60	4.38	*	o
9	90	-50	31.02	9.22	3.36	*	o
10	150	-35	24.30	44.20	1.82	*	o

$$d = 3.0, \quad L = 3.00, \quad L \cdot dn = 0.420, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0062】(1-11) R=0.428の場合、この \* 【0063】  
結果を表12に示す。 \* 【表12】

表 12

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	175	-85	0.05	15.80	316.00	o	o
2	55	-65	30.51	1.34	22.77	o	o
3	50	-70	28.70	1.27	22.60	o	o
4	90	-30	15.48	0.73	21.21	o	o
5	105	-15	10.23	0.51	20.06	o	o
6	10	70	10.00	0.54	18.52	o	o
7	165	-85	1.80	23.79	13.22	o	o
8	90	-50	31.71	8.77	3.62	*	o
9	70	-20	13.50	5.20	2.60	*	o
10	155	-40	23.54	41.53	1.76	*	o

$$d = 2.3, \quad L = 2.30, \quad L \cdot dn = 0.428, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0064】(1-12) R=0.44の場合、この結 \* 【0065】  
果を表13に示す。 \* 【表13】

表 13

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	85	5	16.64	0.05	315.58	o	o
2	105	-15	0.38	11.15	28.98	o	o
3	150	30	1.35	29.99	22.17	o	o
4	70	-50	1.25	27.30	21.90	o	o
5	55	-65	1.33	28.88	21.69	o	o
6	80	10	24.73	1.32	18.70	o	o
7	40	-70	1.48	20.25	13.65	o	o
8	100	30	25.20	8.97	2.81	*	o
9	75	-75	15.66	43.46	2.77	*	o
10	50	10	44.68	18.08	2.47	*	o
11	75	45	47.38	23.00	2.06	*	o
12	80	50	47.57	25.97	1.83	*	o
13	10	-30	45.19	30.00	1.51	*	o

$$d = 4.4, \quad L = 4.40, \quad L \cdot dn = 0.440, \quad W.L. = 0.38 \sim 0.78$$

【0066】(1-13) R=0.45の場合、この結 \* 【0067】  
果を表14に示す。 \* 【表14】

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	175	-85	0.05	16.64	332.80	o	o
2	100	-20	11.73	0.41	28.61	o	o
3	150	30	29.43	1.36	21.64	o	o
4	165	-85	1.89	24.74	13.09	o	o
5	90	-50	32.40	8.32	3.89	*	o
6	120	-90	32.69	47.52	1.45	*	o
7	100	50	22.40	31.05	1.39	*	o
8	10	10	44.96	39.00	1.15	*	*

$$d = 3.0, \quad L = 3.00, \quad L \cdot dn = 0.450, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0068】(1-14) R=0.56の場合、この結 \* 【0069】  
果を表15に示す。 \* 【表15】

表 15

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	85	5	25.01	0.21	117.74	o	o
2	90	10	25.10	0.29	87.68	o	o
3	110	-20	0.41	22.48	55.13	o	o
4	75	-5	25.47	0.50	51.30	o	o
5	90	-40	1.94	23.53	12.11	o	o
6	70	-90	13.77	42.63	3.09	*	o
7	85	35	41.05	14.20	2.89	*	o
8	40	-10	43.19	15.35	2.81	*	o
9	135	85	42.26	15.04	2.81	*	o
10	100	50	42.85	15.45	2.77	*	o
11	20	-30	44.03	15.88	2.77	*	o
12	120	-50	17.62	42.85	2.43	*	o
13	140	-30	17.66	42.76	2.42	*	o
14	140	-50	30.99	39.52	1.28	*	*
15	120	-70	32.44	40.63	1.25	*	*
16	160	-30	32.61	40.44	1.24	*	*

$$d = 4.0, \quad L = 4.00, \quad L \cdot dn = 0.560, \quad W.L. = 0.38 \sim 0.78$$

【0070】(1-15) R=0.64の場合、この結 \* 【0071】  
果を表16に示す。 \* 【表16】

表 16

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	85	5	29.95	0.24	124.72	0	0
2	80	0	30.27	0.57	53.28	0	0
3	90	10	30.06	0.57	52.80	0	0
4	170	0	15.97	46.91	2.94	*	0
5	0	-50	41.86	16.07	2.60	*	0
6	40	40	15.37	35.56	2.31	*	0
7	100	50	42.88	19.46	2.20	*	0
8	175	-5	22.12	46.84	2.12	*	0
9	0	0	22.34	47.20	2.11	*	0
10	60	20	37.23	17.84	2.09	*	0
11	100	-80	21.11	43.84	2.08	*	0
12	80	80	21.11	43.84	2.08	*	0
13	120	70	44.29	21.85	2.03	*	0
14	40	0	41.63	24.18	1.72	*	0
15	20	-20	44.78	28.91	1.55	*	0
16	60	50	22.42	33.91	1.51	*	0

$d = 6.4$ ,  $L = 6.40$ ,  $L \cdot dn = 0.640$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0072】(1-16)  $R = 0.7$ の場合、この結果 \* 【0073】  
を表17に示す。

表 17

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	175	-85	0.23	32.52	141.39	0	0
2	0	-90	0.22	27.42	124.64	0	0
3	170	-90	0.83	32.85	39.58	0	0
4	85	15	2.53	36.34	14.36	0	0
5	95	15	2.54	33.71	13.27	0	0
6	130	-20	25.35	1.99	12.74	0	0
7	20	60	19.46	1.91	10.19	0	0
8	90	-85	43.50	12.31	3.53	*	0
9	105	50	24.10	48.34	2.01	*	0
10	150	-50	23.75	23.71	1.00	*	*

$d = 4.4$ ,  $L = 4.40$ ,  $L \cdot dn = 0.700$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0074】(1-17)  $R = 0.72$ の場合、この結果を表18に示す。

【0075】  
【表18】

表 18

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	90	0	28.61	0.13	228.70	0	0
2	85	5	32.40	0.18	184.09	0	0
3	80	0	32.87	1.01	32.51	0	0
4	0	20	10.94	42.46	3.88	*	0
5	0	30	9.50	36.45	3.84	*	0
6	80	-80	12.26	44.05	3.59	*	0
7	175	5	14.19	47.01	3.31	*	0
8	70	-20	33.64	11.52	2.92	*	0
9	120	-60	9.61	25.40	2.64	*	0
10	175	-5	17.59	46.21	2.63	*	0
11	90	-90	17.73	45.23	2.55	*	0
12	20	-60	39.55	16.38	2.41	*	0
13	60	-20	39.55	16.38	2.41	*	0
14	100	40	40.17	19.46	2.06	*	0
15	80	40	30.99	16.30	1.90	*	0
16	30	-30	46.40	31.23	1.49	*	0
17	160	40	21.34	30.61	1.43	*	0

$d = 4.5$ ,  $L = 4.50$ ,  $L \cdot dn = 0.72$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0076】(1-18)  $R = 0.78$  の場合、この結 \* 【0077】  
果を表19に示す。

\* 20 【表19】  
表 19

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	90	0	30.34	0.06	516.13	0	0
2	85	5	31.83	0.11	289.63	0	0
3	95	-5	27.22	0.53	51.82	0	0
4	90	-80	15.90	46.79	2.94	*	0
5	85	-85	16.34	47.98	2.94	*	0
6	5	25	12.96	37.63	2.90	*	0
7	60	0	33.10	11.51	2.88	*	0
8	0	0	17.80	48.19	2.71	*	0
9	80	80	16.11	43.40	2.69	*	0
10	20	0	23.65	42.13	1.78	*	0
11	110	30	40.31	23.22	1.74	*	0
12	25	5	21.69	36.85	1.70	*	0
13	65	-65	27.25	43.64	1.60	*	0
14	100	40	37.90	24.78	1.53	*	0
15	40	-40	46.75	39.60	1.18	*	*
16	30	-30	44.25	41.19	1.07	*	*
17	50	-50	42.13	39.99	1.05	*	*

$d = 4.9$ ,  $L = 4.90$ ,  $L \cdot dn = 0.78$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0078】(1-19)  $R = 0.84$  の場合、この結 \* 【0079】  
果を表20に示す。 【表20】

表 20

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	85	5	27.05	0.05	534.38	0	0
2	90	0	27.91	0.08	359.67	0	0
3	80	10	24.74	0.33	75.31	0	0
4	95	-5	27.20	0.41	66.98	0	0
5	80	20	21.82	2.13	10.26	0	0
6	0	0	18.31	46.63	2.55	*	0
7	5	5	17.82	45.37	2.55	*	0
8	175	-5	17.82	45.37	2.55	*	0
9	5	-5	18.92	46.29	2.45	*	0
10	160	-30	9.41	21.84	2.32	*	0
11	90	30	25.56	11.24	2.28	*	0
12	60	0	25.04	11.21	2.23	*	0
13	120	0	25.98	12.12	2.14	*	0
14	20	0	19.11	40.80	2.14	*	0
15	40	-30	39.66	40.58	1.02	*	*
16	40	-40	42.34	41.57	1.02	*	*
17	50	-50	42.47	41.94	1.01	*	*

$d = 5.3$ ,  $L = 5.30$ ,  $L \cdot dn = 0.84$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0080】(1-20)  $R = 0.96$ の場合、この結果を表21に示す。 \* 【0081】  
\*20 【表21】

表 21

No.	P	R	I+	I-	CR	T	R
1	175	-85	15.58	0.07	238.44	0	0
2	90	0	19.55	0.30	66.13	0	0
3	95	-5	22.94	1.67	13.75	0	0
4	105	15	23.56	7.01	3.36	*	0
5	40	10	9.82	23.41	2.38	*	0
6	30	20	13.36	28.60	2.14	*	0
7	0	-30	15.38	32.68	2.12	*	0
8	90	70	18.77	39.58	2.11	*	0
9	20	0	18.71	39.33	2.10	*	0
10	20	-10	19.04	38.84	2.04	*	0
11	20	-20	19.84	36.42	1.84	*	0
12	60	60	14.22	25.72	1.81	*	0
13	10	10	24.48	42.89	1.75	*	0
14	5	5	25.92	45.33	1.75	*	0
15	0	0	26.42	46.18	1.75	*	0

$d = 4.6$ ,  $L = 4.60$ ,  $L \cdot dn = 0.96$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0082】(1-21)  $R = 1.02$ の場合、この結果を表22に示す。

【0083】  
【表22】

表 2 2

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	85	5	10.32	0.12	84.47	0	0
2	90	0	14.79	0.42	35.60	0	0
3	85	-5	15.22	0.92	16.52	0	0
4	80	-30	29.77	13.19	2.26	*	0
5	60	-20	18.64	9.92	1.88	*	0
6	40	-60	32.00	17.29	1.85	*	0
7	70	-40	34.52	18.79	1.84	*	0
8	45	-55	33.22	18.73	1.77	*	0
9	40	-50	28.52	16.60	1.72	*	0
10	60	-50	37.62	22.45	1.68	*	0
11	40	-40	24.49	16.81	1.46	*	0
12	0	0	1.00	1.00	1.00	*	*
13	40	0	1.00	1.00	1.00	*	*
14	80	-60	1.00	1.00	1.00	*	*
15	60	-80	1.00	1.00	1.00	*	*
16	0	50	1.00	1.00	1.00	*	*

$d = 6.4$ ,  $L = 6.40$ ,  $L \cdot dn = 1.02$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0084】(1-22)  $R = 1.05$ の場合、この結 \* 【0085】  
果を表23に示す。 \* 【表23】

表 2 3

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	90	0	11.93	0.45	26.78	0	0
2	85	-5	12.31	0.82	14.98	0	0
3	5	-85	12.31	0.82	14.98	0	0
4	20	-70	17.09	5.58	3.06	*	0
5	80	-30	26.97	12.17	2.22	*	0
6	60	-30	21.29	9.75	2.18	*	0
7	35	-75	29.13	14.32	2.03	*	0
8	60	-40	27.82	13.79	2.02	*	0
9	50	-50	29.27	15.24	1.92	*	0
10	60	-50	33.88	19.06	1.78	*	0
11	40	-40	20.23	12.55	1.61	*	0
12	40	-20	14.38	16.67	1.16	*	*
13	20	0	1.00	1.00	1.00	*	*
14	60	-80	1.00	1.00	1.00	*	*
15	80	-60	1.00	1.00	1.00	*	*
16	20	-20	1.00	1.00	1.00	*	*
17	60	60	1.00	1.00	1.00	*	*

$d = 6.6$ ,  $L = 6.60$ ,  $L \cdot dn = 1.05$ ,  $W.L. = 0.38 \sim 0.78$

【0086】(1-23)  $R = 1.06$ の場合、この結 40 【0087】  
果を表24に示す。 【表24】



表 24

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	0	-90	0.45	11.93	26.51	o	o
2	85	-5	0.82	12.31	15.01	o	o
3	95	5	0.82	12.31	15.01	o	o
4	0	65	8.53	21.50	2.52	*	o
5	130	70	16.67	14.38	1.16	*	*
6	70	70	1.00	1.00	1.00	*	*

$d=5.1$ ,  $L=5.10$ ,  $L \cdot dn=1.06$ ,  $W.L.=(0.38 \sim 0.78)$

【0088】(1-24)  $R=1.08$ の場合、この結 \* 【0089】  
果を表25に示す。 \* 【表25】

表 25

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	85	-15	14.86	4.00	3.72	*	o
2	20	-80	16.31	5.24	3.11	*	o
3	80	-20	16.31	5.24	3.11	*	o
4	25	-85	21.47	9.60	2.24	*	o
5	85	-25	21.47	9.60	2.24	*	o
6	65	-35	21.78	9.95	2.19	*	o
7	30	-80	23.27	11.14	2.09	*	o
8	80	-30	23.27	11.14	2.09	*	o
9	40	-60	23.24	11.21	2.07	*	o
10	60	-40	23.24	11.21	2.07	*	o
11	45	-55	24.20	12.04	2.01	*	o
12	55	-45	24.20	12.04	2.01	*	o
13	40	-70	26.99	14.34	1.88	*	o
14	40	50	30.51	36.80	1.21	*	*
15	30	50	32.69	35.12	1.07	*	*
16	40	60	32.90	35.18	1.07	*	*
17	20	40	34.77	37.07	1.07	*	*

$d=5.8$ ,  $L=5.80$ ,  $L \cdot dn=1.08$ ,  $W.L.=0.38 \sim 0.78$

【0090】(1-25)  $R=1.12$ の場合、この結 ※ 【0091】  
果を表26に示す。 ※ 【表26】

表 26

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	70	-30	16.34	7.77	2.10	*	o
2	60	-40	19.00	10.20	1.86	*	o
3	60	-50	25.11	15.42	1.63	*	o
4	50	-60	25.11	15.42	1.63	*	o
5	50	20	17.07	25.88	1.52	*	o
6	50	-70	29.97	20.61	1.45	*	o
7	90	50	16.02	23.28	1.45	*	o
8	40	10	19.54	28.25	1.45	*	o
9	55	-65	30.76	21.34	1.44	*	o
10	60	-60	31.04	21.59	1.44	*	o
11	80	50	19.80	28.44	1.44	*	o
12	55	35	21.72	30.84	1.42	*	o
13	50	30	21.93	31.06	1.42	*	o
14	0	40	35.72	31.00	1.15	*	*
15	40	-30	11.39	10.08	1.13	*	*
16	30	60	34.00	31.96	1.06	*	*
17	40	60	35.35	36.32	1.03	*	*

$d=5.4$ ,  $L=5.40$ ,  $L \cdot dn=1.12$ ,  $W.L.=0.38 \sim 0.78$

【0092】(1-26)  $R=1.9$ の場合、この結果 50 を表27に示す。

【0093】

\* \* 【表27】

表 27

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	20	70	18.50	8.20	2.26	*	o
2	120	-30	27.60	14.90	1.85	*	o
3	140	-40	32.60	20.70	1.57	*	o
4	60	-40	16.00	25.10	1.57	*	o
5	40	-60	16.00	25.10	1.57	*	o
6	110	60	24.10	35.30	1.46	*	o
7	90	-90	43.60	48.00	1.10	*	*
8	110	-70	38.90	36.40	1.07	*	*
9	170	-80	5.80	2.30	2.52	*	*
10	80	-20	8.80	7.50	1.17	*	*

d=19.0, L=19.00, L·dn=1.900, W.L.=(0.38~0.78)

【0094】(1-27) R=2.5の場合、この結果 ※【0095】  
を表28に示す。 ※【表28】

表 28

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	110	-15	12.80	7.30	1.75	*	o
2	105	-20	12.70	7.30	1.74	*	o
3	20	70	14.60	9.00	1.62	*	o
4	115	-20	16.70	11.10	1.50	*	o
5	110	-25	16.60	11.10	1.50	*	o
6	120	-30	21.90	16.30	1.34	*	o
7	140	-40	26.90	22.50	1.20	*	*
8	110	60	29.00	34.20	1.18	*	*
9	60	-40	20.50	23.50	1.15	*	*
10	90	-90	43.80	47.90	1.09	*	*
11	130	-90	26.00	28.10	1.08	*	*
12	160	20	36.60	38.40	1.05	*	*
13	170	-30	33.20	34.30	1.03	*	*
14	90	-50	28.60	28.10	1.02	*	*
15	0	-90	3.90	0.00	975.00	*	*
16	170	-80	5.50	2.50	2.20	*	*
17	80	-20	9.40	7.10	1.32	*	o

d=25.0, L=25.00, L·dn=2.500, W.L.=(0.38~0.78)

【0096】(1-28) 以上の実施例においては、 $\phi$  rが $160^\circ \leq \phi r \leq 200^\circ$ の範囲にあれば実用に耐える液晶光学素子であることも確認した。P、Aの値の相互の設定値は、反射型と透明型とは、上記の通り、反射型のコントラスト比は透過型のコントラスト比の自乗になるため異なるが、その相互関係をまとめると以下の通りになる。

(1) 反射型の場合

①  $0.102 \leq R \leq 0.4$  又は  $0.78 \leq R \leq 0.96$ の場合、
$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \beta 1 \leq A \leq -P + \beta 2] \text{ 又は}$$

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \delta 1 \leq A \leq -P + \delta 2]$$

$$\alpha 1 = -109.4 \cdot R - 133.1$$

$$-225.0$$

$$\alpha 2 = -45.0$$

$$6696.4 \cdot R^3 - 8720.1 \cdot R^2 + 3354.7 \cdot R - 445.0$$

$$1519.0 \cdot R^3 - 4175.2 \cdot R^2 + 3568.7 \cdot R - 1087.0$$

②  $0.72 \leq R \leq 0.78$ の場合、
$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \beta 1 \leq A \leq -P + \beta 2] \text{ 又は}$$

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$$
③  $0.40 \leq R \leq 0.72$ ,  $0.96 \leq R \leq 0.99$ , 又は  $1.05 \leq R \leq 1.12$ の場合、
$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2] \text{ 又は}$$

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$$
④  $0.99 \leq R \leq 1.02$ の場合、
$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2]$$
⑤  $1.02 \leq R \leq 1.05$ の場合、
$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$$

但し、

$$(0.102 \leq R \leq 1.02)$$

$$(1.05 \leq R \leq 1.12)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.32)$$

$$(0.32 \leq R \leq 0.64)$$

$$(0.64 \leq R \leq 1.02)$$

45

$$\begin{aligned}
 & -333.3 \cdot R + 175.0 \\
 \beta 1 &= -9114.6 \cdot R^3 + 6666.7 \cdot R^2 - 1577.1 \cdot R + 74.0 \\
 & -55.0 \\
 & -75.0 \\
 \beta 2 &= 9114.6 \cdot R^3 - 6666.7 \cdot R^2 + 1577.1 \cdot R - 74.0 \\
 & 55.0 \\
 & 75.0 \\
 \gamma 1 &= 312.5 \cdot R^2 - 187.5 \cdot R - 37.0 \\
 & 5208.3 \cdot R^3 - 7500.0 \cdot R^2 + 3341.6 \cdot R - 537.0 \\
 & 1030.2 \cdot R^3 - 2722.0 \cdot R^2 + 2225.9 \cdot R - 684.0 \\
 & 197575.9 \cdot R^3 - 626821.6 \cdot R^2 + 662332.3 \cdot R - 233217.9 \\
 \gamma 2 &= -625.0 \cdot R^2 + 225.0 \cdot R + 27.0 \\
 & 7254.4 \cdot R^3 - 10245.5 \cdot R^2 + 4448.2 \cdot R - 577.0 \\
 & -558.0 \cdot R^2 + 736.6 \cdot R - 267.9 \\
 & -5555.5 \cdot R^2 + 11500.0 \cdot R - 6024.9 \\
 \delta 1 &= -6746.0 \cdot R^3 + 5571.4 \cdot R^2 - 1504.0 \cdot R + 166.9 \\
 & -55.6 \cdot R + 68.4 \\
 \delta 2 &= 6746.0 \cdot R^3 - 5571.4 \cdot R^2 + 1504.0 \cdot R + 13.1 \\
 & 55.6 \cdot R + 111.6
 \end{aligned}$$

46

$$\begin{aligned}
 & (1.05 \leq R \leq 1.12) \\
 & (0.102 \leq R \leq 0.36) \\
 & (0.36 \leq R \leq 0.40) \\
 & (0.72 \leq R \leq 0.96) \\
 & (0.102 \leq R \leq 0.36) \\
 & (0.36 \leq R \leq 0.40) \\
 & (0.72 \leq R \leq 0.96) \\
 & (0.102 \leq R \leq 0.32) \\
 & (0.32 \leq R \leq 0.64) \\
 & (0.64 \leq R \leq 0.99) \\
 & (1.02 \leq R \leq 1.12) \\
 & (0.102 \leq R \leq 0.32) \\
 & (0.32 \leq R \leq 0.64) \\
 & (0.64 \leq R \leq 0.99) \\
 & (1.02 \leq R \leq 1.12) \\
 & (0.102 \leq R \leq 0.40) \\
 & (0.78 \leq R \leq 0.96) \\
 & (0.102 \leq R \leq 0.40) \\
 & (0.78 \leq R \leq 0.96)
 \end{aligned}$$

【0097】(2) 透過型の場合、

①  $0.1 \leq R \leq 0.22$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha 1$$

②  $0.22 < R \leq 0.42$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha 1, \quad \text{又は} \\ A = -P + \beta 1$$

③  $0.42 < R \leq 0.44$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha 2, \quad \text{又は} \quad * \\ \text{ただし} \quad -99^\circ \leq \alpha 1 \leq -58^\circ \\ \quad \quad \quad -100^\circ \leq \alpha 3 \leq -60^\circ$$

$$20 * A = -P + \beta 1$$

④  $0.44 < R < 0.473$  の場合、

$$A = P + \gamma \quad \text{但し} \quad -137.5 \times R - 75 \leq \gamma \leq -60$$

⑤  $0.473 \leq R \leq 0.7$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha 2 \quad \text{又は} \\ A = P + \alpha 3$$

⑥  $0.7 < R \leq 1.06$  の場合、

$$A = -P + \beta 1 \\ -75^\circ \leq \alpha 2 \leq -35^\circ \\ 70^\circ \leq \beta 1 \leq 110^\circ$$

【0098】(3)  $\phi_r$  が  $180^\circ$  である透過型の場合において、コントラスト比10以上かつオン透過率10%の良好な特性が得られる条件は、以下の通りとなる。

①  $0.1 \leq R \leq 0.22$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha 1$$

②  $0.22 < R \leq 0.42$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha 1, \quad \text{又は} \\ A = -P + \beta 1$$

$$\begin{aligned}
 & \text{ただし} \quad -94^\circ \leq \alpha 1 \leq -63^\circ \\
 & \quad \quad \quad -95^\circ \leq \alpha 3 \leq -65^\circ
 \end{aligned}$$

※

30※③  $0.42 < R \leq 0.44$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha 2, \quad \text{又は} \\ A = -P + \beta 1$$

④  $0.44 < R \leq 0.7$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha 2 \quad \text{又は} \\ A = P + \alpha 3$$

⑤  $0.7 < R \leq 1.06$  の場合、

$$A = -P + \beta 1 \\ -70^\circ \leq \alpha 2 \leq -40^\circ \\ 75^\circ \leq \beta 1 \leq 105^\circ$$

【0099】(実施例2)  $\phi_r = 90^\circ$  の場合、本実施例では、 $\phi_r$  がほぼ  $90^\circ$  となるようにらせんピッチ  $p_0$  を調整した。例えば、実施例2-1では液晶材料としてZLI-4262を用い、 $d = 2.0 \mu\text{m}$  とした。 $L = 2.67 \mu\text{m}$ 、 $d/p_0 \approx 0.3$  である。以下、種々の  $R$  に対するデータを示すが、それらの見方は実施例1

と同じである。

(2-1)  $R = 0.2$  の場合、この結果を表29に示す。

【0100】

【表29】

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	130	60	10.00	0.50	20.00	o	o
2	10	-90	2.50	22.10	8.84	*	o
3	100	0	2.50	21.90	8.76	*	o
4	110	-10	8.90	33.70	3.79	*	o
5	170	40	13.40	30.80	2.30	*	o
6	60	-70	12.90	28.00	2.17	*	o
7	80	0	6.70	13.60	2.03	*	o
8	90	-45	17.80	35.90	2.02	*	o
9	130	-80	40.40	20.50	1.97	*	o
10	160	-60	35.00	19.60	1.79	*	o
11	150	-20	42.60	40.80	1.04	*	*
12	120	-50	43.40	44.30	1.02	*	*
13	50	-40	0.90	5.50	6.11	*	*
14	50	-30	4.60	3.10	1.48	*	*

$d = 2.0$ ,  $L = 2.67$ ,  $L \cdot dn = 0.267$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0101】(2-2)  $R = 0.28$ の場合、この結果 \* 【0102】  
を表30に示す。 \* 20 【表30】

表 30

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	50	-50	0.50	20.90	41.80	o	o
2	110	60	29.40	0.80	36.75	o	o
3	40	-60	1.00	22.50	22.50	o	o
4	100	-10	4.70	39.70	8.45	*	o
5	20	-40	22.50	3.30	6.82	*	o
6	20	70	11.70	46.80	4.00	*	o
7	90	0	7.50	28.70	3.83	*	o
8	90	-90	40.00	18.80	2.13	*	o
9	140	70	15.70	8.30	1.89	*	o
10	70	-10	11.30	19.80	1.75	*	o
11	160	-20	41.90	24.30	1.72	*	o
12	140	-40	44.40	31.70	1.40	*	o
13	100	-70	36.20	27.60	1.31	*	*
14	170	-80	19.00	18.50	1.03	*	*

$d = 2.8$ ,  $L = 3.73$ ,  $L \cdot dn = 0.373$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0103】(2-3)  $R = 0.318$ の場合、この結果を表31に示す。

【0104】  
【表31】

表 31

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	110	-10	6.40	45.90	7.17	*	o
2	60	-70	5.10	35.40	6.94	*	o
3	170	40	6.20	38.10	6.15	*	o
4	10	-90	6.40	39.00	6.09	*	o
5	100	0	6.50	38.90	5.98	*	o
6	130	-80	44.00	8.20	5.37	*	o
7	90	-45	10.20	40.60	3.98	*	o
8	160	-60	42.40	12.10	3.50	*	o
9	140	-50	46.20	20.20	2.29	*	o
10	110	-70	39.40	18.70	2.11	*	o
11	130	60	17.70	10.20	1.74	*	o
12	80	0	15.80	27.40	1.73	*	o
13	20	-50	18.90	12.90	1.47	*	o
14	150	-20	34.70	26.80	1.29	*	*

$d = 2.0$ ,  $L = 2.67$ ,  $L \cdot dn = 0.424$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0105】(2-4)  $R = 0.56$  の場合、この結果 \* 【0106】  
を表32に示す。 \* 【表32】

表 32

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	90	-90	11.60	0.40	29.00	o	o
2	160	-20	13.60	2.00	6.80	*	o
3	120	-70	21.30	4.50	4.73	*	o
4	140	-40	16.30	4.20	3.88	*	o
5	80	-50	6.50	25.20	3.88	*	o
6	20	70	10.00	28.10	2.81	*	o
7	100	-10	22.30	41.50	1.86	*	o
8	160	-60	42.60	23.50	1.81	*	o
9	40	-60	25.10	42.10	1.68	*	o
10	110	60	41.40	27.30	1.52	*	o
11	90	0	36.30	47.40	1.31	*	*
12	70	-10	40.70	45.70	1.12	*	*
13	170	-80	45.70	43.40	1.05	*	*
14	140	70	42.10	40.40	1.04	*	*

$d = 4.0$ ,  $L = 5.33$ ,  $L \cdot dn = 0.747$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0107】(2-5)  $R = 0.84$  の場合、この結果 \* 【0108】  
を表33に示す。 40 【表33】

表 33

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	60	-60	36.70	4.30	8.53	*	o
2	140	-50	5.90	43.40	7.36	*	o
3	130	60	28.80	5.40	5.33	*	o
4	130	-80	6.80	27.00	3.97	*	o
5	160	-60	13.00	42.40	3.26	*	o
6	150	-20	10.80	27.00	2.50	*	o
7	170	40	35.20	14.20	2.48	*	o
8	20	-60	36.40	20.80	1.75	*	o
9	90	-45	33.40	24.10	1.39	*	o
10	50	-10	23.80	20.80	1.14	*	*
11	80	0	39.00	43.40	1.11	*	*
12	10	-90	45.50	43.20	1.05	*	*
13	100	0	45.60	43.40	1.05	*	*
14	110	-10	43.00	43.30	1.01	*	*

$d = 6.0$ ,  $L = 8.00$ ,  $L \cdot dn = 1.120$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0109】（実施例3） $\phi r = 160^\circ$  の場合、本実施例では、 $\phi r$  がほぼ  $160^\circ$  となるようにらせんピッチ  $p_0$  を調整した。例えば、実施例3-1では、液晶材料としてZLI-4262を用い、 $d = 2.0 \mu m$  とした。  $L = 2.12 \mu m$ 、 $d/p_0 \approx 0.5$  である。以

\*下、種々のRに対するデータを示す。

（3-1） $R = 0.2$  の場合、この結果を表34に示す。

【0110】

【表34】

表 34

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	100	0	0.20	11.10	55.50	o	o
2	20	-70	0.70	28.30	40.43	o	o
3	60	0	16.80	1.90	8.84	*	o
4	130	-80	40.10	10.00	4.01	*	o
5	60	-70	14.60	43.30	2.97	*	o
6	160	-60	33.10	12.80	2.59	*	o
7	110	-30	22.60	10.20	2.22	*	o
8	100	-45	26.80	12.30	2.18	*	o
9	170	40	14.60	22.50	1.54	*	o
10	150	-20	43.90	38.30	1.15	*	*
11	160	-90	9.50	0.20	47.50	*	o

$d = 2.0$ ,  $L = 2.12$ ,  $L \cdot dn = 0.212$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0111】（3-2） $R = 0.28$  の場合、この結果を表35に示す。

【0112】

【表35】

表 35

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.20	47.30	236.50	o	o
2	20	-80	0.70	28.80	41.14	o	o
3	60	-40	0.70	28.80	41.14	o	o
4	170	-80	13.60	7.10	1.92	*	o
5	110	60	29.70	45.00	1.52	*	o
6	140	70	13.60	20.50	1.51	*	o
7	160	-20	45.30	40.10	1.13	*	*
8	90	-90	45.20	40.70	1.11	*	*

$$d = 2.8, \quad L = 2.96, \quad L \cdot dn = 0.296, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0113】(3-3)  $R = 0.318$  の場合、この結果 \* 【0114】  
果を表36に示す。 \* 【表36】

表 36

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.60	45.40	75.67	o	o
2	100	0	0.60	13.20	22.00	o	o
3	10	-90	0.60	13.20	22.00	o	o
4	130	-80	44.40	9.10	4.88	*	o
5	130	60	16.20	36.60	2.26	*	o
6	170	40	8.10	18.30	2.26	*	o
7	90	-45	11.30	8.20	1.38	*	o
8	150	-20	38.40	33.10	1.16	*	*
9	20	-20	39.40	42.00	1.07	*	*

$$d = 2.0, \quad L = 2.12, \quad L \cdot dn = 0.337, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0115】(3-4)  $R = 0.56$  の場合、この結果 ※ 【0116】  
を表37に示す。 ※ 【表37】

表 37

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	120	-60	24.80	40.00	1.61	*	o
2	140	-40	25.20	40.60	1.61	*	o
3	160	-20	26.50	42.10	1.59	*	o
4	90	-90	26.70	42.00	1.57	*	o
5	110	60	46.70	36.70	1.27	*	*
6	100	-10	7.30	0.30	24.33	*	*

$$d = 4.0, \quad L = 4.24, \quad L \cdot dn = 0.593, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0117】(3-5)  $R = 0.84$  の場合、この結果 【0118】  
を表38に示す。 【表38】

表 38

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	90	-10	28.90	1.60	18.06	o	o
2	80	0	28.90	2.70	10.70	o	o
3	150	-20	15.00	35.90	2.39	*	o
4	90	-45	18.50	8.90	2.08	*	o
5	170	40	24.70	18.40	1.34	*	o
6	130	60	38.50	34.30	1.12	*	*
7	20	-60	42.70	38.90	1.10	*	*
8	130	-80	10.90	10.10	1.08	*	*
9	60	-60	36.70	38.10	1.04	*	*

$$d = 6.0, \quad L = 6.35, \quad L \cdot dn = 0.889, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0119】（実施例4） $\phi r = 200^\circ$  の場合、本実施例では、 $\phi r$  がほぼ  $200^\circ$  となるようにらせんピッチ  $p_0$  を調整した。例えば、実施例4-1では、液晶材料としてZLI-4262を用い、 $d = 2.0 \mu m$  とした。  $L = 1.89 \mu m$ 、 $d/p_0 = 0.6$  である。以

\*下、種々のRに対するデータを示す。

（4-1） $R = 0.2$  の場合、この結果を表39に示す。

【0120】

【表39】

表 39

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	50	-40	0.70	36.50	52.14	o	o
2	140	60	3.60	39.00	10.83	o	o
3	150	-50	44.60	12.00	3.72	*	o
4	150	-20	44.20	13.20	3.35	*	o
5	170	40	15.50	37.60	2.43	*	o
6	160	-90	8.80	19.00	2.16	*	o
7	110	-30	23.60	12.90	1.83	*	o
8	60	0	16.00	27.00	1.69	*	o
9	20	-10	39.40	45.60	1.16	*	*
10	100	-45	27.90	29.50	1.06	*	*
11	130	-80	39.50	38.20	1.03	*	*

$$d = 2.0, \quad L = 1.89, \quad L \cdot dn = 0.189, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0121】（4-2） $R = 0.28$  の場合、この結果を表40に示す。

※【0122】

※【表40】

表 40

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.40	28.60	71.50	o	o
2	60	-40	0.70	47.10	67.29	o	o
3	140	-40	45.30	2.10	21.57	o	o
4	160	-20	45.40	11.80	3.85	*	o
5	140	70	12.60	46.00	3.65	*	o
6	90	-60	27.90	44.70	1.60	*	o
7	110	60	28.20	35.80	1.27	*	*
8	90	-90	45.90	40.60	1.13	*	*

$$d = 2.8, \quad L = 2.65, \quad L \cdot dn = 0.265, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0123】（4-3） $R = 0.318$  の場合、この結果を表41に示す。

【0124】

【表41】



表 41

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.80	29.10	36.38	o	o
2	160	-60	37.00	1.70	21.76	o	o
3	150	-20	39.30	7.80	5.04	*	o
4	170	40	10.40	46.10	4.43	*	o
5	90	-45	13.70	40.10	2.93	*	o
6	130	60	14.90	43.10	2.89	*	o
7	130	-80	43.20	32.60	1.33	*	o
8	90	-80	40.20	44.50	1.11	*	*
9	10	-70	7.30	3.80	1.92	*	*

$d = 2.0$ ,  $L = 1.89$ ,  $L \cdot dn = 0.301$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0125】(4-4)  $R = 0.56$  の場合、この結果 \* 【0126】  
を表 42 に示す。 \* 【表 42】

表 42

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	170	-80	30.50	0.30	101.67	o	o
2	20	70	1.30	34.40	26.46	o	o
3	140	70	36.20	2.40	15.08	o	o
4	40	-30	36.20	2.40	15.08	o	o
5	100	-30	3.20	35.10	10.97	o	o
6	160	-70	39.90	5.60	7.13	*	o
7	110	60	44.20	7.20	6.14	*	o
8	100	-10	5.30	19.20	3.62	*	o
9	100	-60	17.40	47.50	2.73	*	o
10	140	-40	25.30	40.10	1.58	*	o
11	90	-90	31.10	42.10	1.35	*	o

$d = 4.0$ ,  $L = 3.79$ ,  $L \cdot dn = 0.531$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0127】(4-5)  $R = 0.84$  の場合、この結果 ※ 【0128】  
を表 43 に示す。 ※ 【表 43】

表 43

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	10	-70	31.20	1.60	19.50	o	o
2	100	0	31.40	2.70	11.63	o	o
3	30	-70	34.40	12.10	2.84	*	o
4	80	-80	17.80	43.20	2.43	*	o
5	150	-20	4.60	10.10	2.20	*	o
6	130	-80	20.00	34.50	1.73	*	o
7	90	-45	28.40	39.50	1.39	*	o
8	170	40	33.00	45.10	1.37	*	o
9	60	-40	44.70	44.20	1.01	*	*
10	130	60	41.50	41.60	1.00	*	*

$d = 6.0$ ,  $L = 5.68$ ,  $L \cdot dn = 0.796$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0129】(実施例5)  $\phi_r = 270^\circ$  の場合、本実施例では、 $\phi_r$  がほぼ  $270^\circ$  となるようにらせんピッチ 50 を調整した。例えば、実施例5-1では、液晶材料としてZLI-4262を用い、 $d = 2.0 \mu m$  とし

た。L=1.6  $\mu$ m、 $d/p_0 \approx 0.8$ である。以下、\*す。  
種々のRに対するデータを示す。

【0130】

(5-1) R=0.2の場合、この結果を表44に示す \* 【表44】

表 44

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	100	0	1.30	15.90	12.23	o	o
2	90	-10	1.30	15.90	12.23	o	o
3	10	-70	3.80	21.70	5.71	*	o
4	140	60	3.20	12.80	4.00	*	o
5	160	-90	9.20	29.40	3.20	*	o
6	170	40	15.60	5.80	2.69	*	o
7	60	0	16.00	32.90	2.06	*	o
8	100	-45	28.30	18.00	1.57	*	o
9	150	-20	44.40	31.00	1.43	*	o
10	110	-30	24.50	19.80	1.24	*	*
11	130	-80	39.10	41.80	1.07	*	*
12	140	-60	44.70	47.30	1.06	*	*
13	20	-20	31.35	31.40	1.00	*	*
14	30	-70	0.80	8.20	10.25	*	o

d=2.0, L=1.60, L·dn=0.160, W.L.=(0.38~0.78)

【0131】(5-2) R=0.28の場合、この結果 \* 【0132】  
を表45に示す。 ※ 【表45】

表 45

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.20	14.00	70.00	o	o
2	60	-40	0.20	14.00	70.00	o	o
3	10	-90	1.70	26.40	15.53	o	o
4	90	0	3.10	32.40	10.45	o	o
5	100	-10	3.30	21.80	6.61	*	o
6	70	-10	6.50	34.20	5.26	*	o
7	40	-40	5.20	23.30	4.48	*	o
8	170	-80	13.00	42.60	3.28	*	o
9	90	-90	44.40	15.10	2.94	*	o
10	140	70	11.60	31.60	2.72	*	o
11	140	-40	46.30	29.40	1.57	*	o
12	160	-60	35.80	46.50	1.30	*	*
13	110	60	26.60	33.00	1.24	*	*
14	20	70	13.30	15.40	1.16	*	*

d=2.8, L=2.24, L·dn=0.224, W.L.=(0.38~0.78)

【0133】(5-3) R=0.318の場合、この結果  
を表46に示す。

【0134】  
【表46】

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	10	-90	2.20	31.40	14.27	o	o
2	100	0	2.30	31.40	13.65	o	o
3	100	-10	3.00	25.80	8.60	*	o
4	80	0	8.80	41.90	4.76	*	o
5	20	-60	7.50	35.10	4.68	*	o
6	150	-20	39.90	12.50	3.19	*	o
7	110	-10	6.30	20.00	3.17	*	o
8	130	60	13.10	33.70	2.57	*	o
9	120	-60	44.80	19.40	2.31	*	o
10	90	-45	14.20	8.30	1.71	*	o
11	170	40	10.20	6.80	1.50	*	o
12	130	-80	42.40	34.60	1.23	*	*
13	160	-60	37.70	43.60	1.16	*	*
14	20	-20	35.60	31.50	1.13	*	*

$d = 2.0$ ,  $L = 1.60$ ,  $L \cdot dn = 0.254$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0135】(5-4)  $R = 0$ . 56の場合、この結果 \* 【0136】  
を表47に示す。

表 4 7

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	90	-90	27.30	1.40	19.50	o	o
2	100	-80	27.90	2.20	12.68	o	o
3	20	70	4.80	36.90	7.69	*	o
4	160	-20	29.20	4.20	6.95	*	o
5	100	-10	8.50	46.00	5.41	*	o
6	120	-60	30.60	6.40	4.78	*	o
7	60	-40	10.00	41.60	4.16	*	o
8	40	-60	10.00	41.50	4.15	*	o
9	140	-40	31.60	7.80	4.05	*	o
10	110	60	41.30	17.70	2.33	*	o
11	90	0	20.60	46.40	2.25	*	o
12	70	-10	26.90	41.40	1.54	*	o
13	170	-80	35.00	37.50	1.07	*	*
14	140	70	31.80	32.60	1.03	*	*

$d = 4.0$ ,  $L = 3.20$ ,  $L \cdot dn = 0.448$ ,  $W.L. = (0.38 \sim 0.78)$

【0137】(5-5)  $R = 0$ . 84の場合、この結果  
を表48に示す。

【0138】  
【表48】

表 48

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	150	-20	1.90	24.70	13.00	o	o
2	130	60	44.20	10.00	4.42	*	o
3	160	-30	8.20	26.60	3.24	*	o
4	20	-60	45.30	23.30	1.94	*	o
5	60	-20	45.30	23.40	1.94	*	o
6	110	-10	26.10	39.70	1.52	*	o
7	90	-45	14.40	21.30	1.48	*	o
8	160	-60	29.70	43.50	1.46	*	o
9	170	40	17.80	12.40	1.44	*	o
10	130	-80	21.80	28.70	1.32	*	*
11	100	0	39.60	41.80	1.06	*	*
12	80	0	45.90	43.70	1.05	*	*
13	10	-90	39.60	41.50	1.05	*	*
14	90	-80	1.30	4.40	3.38	*	*

$$d = 6.0, \quad L = 4.80, \quad L \cdot dn = 0.672, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0139】（実施例6） $\phi_r = 140^\circ$ 、 $R = 0.2$  \*  $15 \mu m$ 、 $d/p_0 \approx 0.4$ である。この結果のデータ  
 8の場合、本実施例では、光学活性物質をZLI-42 を表49に示す。  
 62に適量添加して $\phi_r$ がほぼ $140^\circ$ となるようになら 【0140】  
 せんピッチ $p_0$ を調整した。 $d = 2.8 \mu m$ 、 $L = 3.15$  \* 【表49】  
 表 49

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.90	42.50	47.22	o	o
2	60	-40	0.40	18.20	45.50	o	o
3	100	-10	0.90	24.80	27.56	o	o
4	110	-70	44.10	3.00	14.70	o	o
5	90	0	2.90	23.60	8.14	*	o
6	20	70	9.50	24.10	2.54	*	o
7	140	-40	44.60	24.10	1.85	*	o
8	90	-90	44.40	24.40	1.82	*	o
9	140	70	14.50	9.70	1.49	*	o
10	170	-80	14.70	20.90	1.42	*	o
11	120	-30	24.80	21.60	1.15	*	*
12	110	60	30.80	31.20	1.01	*	*
13	80	-20	0.30	9.80	32.67	o	o
14	70	-10	7.60	7.80	1.03	*	*

$$d = 2.8, \quad L = 3.15, \quad L \cdot dn = 0.315, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0141】（実施例7） $\phi_r = 220^\circ$ 、 $R = 0.2$  \*  $52 \mu m$ 、 $d/p_0 \approx 0.6$ である。この結果のデータ  
 8の場合、本実施例では、光学活性物質をZLI-42 を表50に示す。  
 62に適量添加して $\phi_r$ がほぼ $220^\circ$ となるようになら 【0142】  
 せんピッチ $p_0$ を調整した。 $d = 2.8 \mu m$ 、 $L = 2.0$  \* 【表50】

No.	P	A	I+	I-	CR	T	R
1	40	-60	0.40	16.50	41.25	o	o
2	60	-40	1.20	40.80	34.00	o	o
3	90	0	1.90	23.90	12.58	o	o
4	100	-10	2.00	21.50	10.75	o	o
5	70	-10	6.50	42.50	6.54	*	o
6	140	-40	45.20	11.20	4.04	*	o
7	140	70	12.70	46.20	3.64	*	o
8	70	-60	12.70	31.70	2.50	*	o
9	170	-80	12.00	24.80	2.07	*	o
10	150	-60	41.20	21.30	1.93	*	o
11	90	-90	45.70	24.20	1.89	*	o
12	120	-40	35.60	23.30	1.53	*	o
13	20	70	12.20	18.50	1.52	*	o
14	110	60	27.50	23.80	1.16	*	*

$$d = 2.8, \quad L = 2.52, \quad L \cdot dh = 0.252, \quad W.L. = (0.38 \sim 0.78)$$

【0143】ここに示した結果はほんの一例を示したにすぎない。発明者は、数多くの測定結果を分析することによって、 $160^\circ \leq \phi r \leq 200^\circ$  において1:2以上のコントラスト比を得るための条件を求めた。例えば  $R = 0.102$  においてそのような条件を満たすPとAの組み合わせを図5に示す。PとAを図の陰影をつけた範囲内で組み合わせればよい。PとAに同時に $\pm n\pi/2$ を加えた場合と加えなかった場合とは互いに等価であることを考慮すれば、その範囲は傾きが1または-1である8本の直線によって定められることをその図は示している。また、その範囲はRに依存する。あるRにおけるPとAの関係は次のようになる。

【0144】(1)  $0.102 \leq R \leq 0.4$  又は  $0.78 \leq R \leq 0.96$  の場合、

$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \beta 1 \leq A \leq -P + \beta 2] \text{ 又は}$$

$$\alpha 1 = -109.4 \cdot R - 133.1 \\ -225.0$$

$$\alpha 2 = -45.0 \\ 6696.4 \cdot R^3 - 8720.1 \cdot R^2 + 3354.7 \cdot R - 445.0 \\ 1519.0 \cdot R^3 - 4175.2 \cdot R^2 + 3568.7 \cdot R - 1087.0 \\ -333.3 \cdot R + 175.0$$

$$\beta 1 = -9114.6 \cdot R^3 + 6666.7 \cdot R^2 - 1577.1 \cdot R + 74.0 \\ -55.0 \\ -75.0$$

$$\beta 2 = 9114.6 \cdot R^3 - 6666.7 \cdot R^2 + 1577.1 \cdot R - 74.0 \\ 55.0 \\ 75.0$$

$$\gamma 1 = 312.5 \cdot R^2 - 187.5 \cdot R - 37.0 \\ 5208.3 \cdot R^3 - 7500.0 \cdot R^2 + 3341.6 \cdot R - 537.0 \\ 1030.2 \cdot R^3 - 2722.0 \cdot R^2 + 2225.9 \cdot R - 684.0 \\ 197575.9 \cdot R^3 - 626821.6 \cdot R^2 + 662332.3 \cdot R - 233217.9$$

$$\gamma 2 = -625.0 \cdot R^2 + 225.0 \cdot R + 27.0 \\ 7254.4 \cdot R^3 - 10245.5 \cdot R^2 + 4448.2 \cdot R - 577.0$$

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \delta 1 \leq A \leq -P + \delta 2]$$

(2)  $0.72 \leq R \leq 0.78$  の場合、

$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2 \quad \text{かつ} \quad -P + \beta 1 \leq A \leq -P + \beta 2] \text{ 又は}$$

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$$

(3)  $0.40 \leq R \leq 0.72$ ,  $0.96 \leq R \leq 0.99$ , 又は  $1.05 \leq R \leq 1.12$  の場合、

$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2] \text{ 又は}$$

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$$

(4)  $0.99 \leq R \leq 1.02$  の場合、

$$[P + \alpha 1 \leq A \leq P + \alpha 2]$$

(5)  $1.02 \leq R \leq 1.05$  の場合、

$$[P + \gamma 1 \leq A \leq P + \gamma 2]$$

但し、

$$(0.102 \leq R \leq 1.02)$$

$$(1.05 \leq R \leq 1.12)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.32)$$

$$(0.32 \leq R \leq 0.64)$$

$$(0.64 \leq R \leq 1.02)$$

$$(1.05 \leq R \leq 1.12)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.36)$$

$$(0.36 \leq R \leq 0.40)$$

$$(0.72 \leq R \leq 0.96)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.36)$$

$$(0.36 \leq R \leq 0.40)$$

$$(0.72 \leq R \leq 0.96)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.32)$$

$$(0.32 \leq R \leq 0.64)$$

$$(0.64 \leq R \leq 0.99)$$

$$(1.02 \leq R \leq 1.12)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.32)$$

$$(0.32 \leq R \leq 0.64)$$

67

$$\begin{aligned}
 & -558.0 \cdot R^2 + 736.6 \cdot R - 267.9 \\
 & -5555.5 \cdot R^2 + 11500.0 \cdot R - 6024.9 \\
 \delta 1 & = -6746.0 \cdot R^3 + 5571.4 \cdot R^2 - 1504.0 \cdot R + 166.9 \\
 & -55.6 \cdot R + 68.4 \\
 \delta 2 & = 6746.0 \cdot R^3 - 5571.4 \cdot R^2 + 1504.0 \cdot R + 13.1 \\
 & 55.6 \cdot R + 111.6
 \end{aligned}$$

【0145】このようにすれば、反射型として実用に耐える表示素子を提供することができる。そして、その一部は透過型表示素子としても実用に耐えることができる。さらに、 $160^\circ \leq \phi_r \leq 200^\circ$  において透過型表示素子としても実用に耐えるような約1:10以上のコントラスト比と約10%以上のオン透過率を同時に得るための条件を求めた。その結果を次に示す。

【0146】①  $0.1 \leq R \leq 0.22$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1$$

②  $0.22 < R \leq 0.42$  の場合、

$$\begin{aligned}
 A &= P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1, \quad \text{又は} \quad * \\
 &\quad \text{ただし} \quad -99^\circ \leq \alpha_1 \leq -58^\circ \\
 &\quad \quad \quad -100^\circ \leq \alpha_3 \leq -60^\circ
 \end{aligned}$$

また、 $\phi_r = 180^\circ$  の場合には次のようにすればよい。

①  $0.1 \leq R \leq 0.22$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1$$

②  $0.22 < R \leq 0.42$  の場合、

$$\begin{aligned}
 A &= P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -82 \times R + \alpha_1, \quad \text{又は} \\
 A &= -P + \beta_1
 \end{aligned}$$

③  $0.42 < R \leq 0.44$  の場合、

$$\begin{aligned}
 &\quad \text{ただし} \quad -94^\circ \leq \alpha_1 \leq -63^\circ \\
 &\quad \quad \quad -95^\circ \leq \alpha_3 \leq -65^\circ
 \end{aligned}$$

【0147】このようにすることによって、透過型としても反射型としても実用に耐える表示素子を提供することができる。Rが1.06 $\mu\text{m}$ よりも大きくなってモザイクの条件に近づいていけば、偏光軸をどのように設定しても透過型として実用に耐えるような表示特性は得られなかった。逆にRを小さくしていけば、ねじれ角の絶対値が大きいねじれ状態はより等方相に近づいていき、コントラスト比が高くなる。しかし、Rをあまり小さくし過ぎるとオン透過率が減少していく。さらに液晶材料の複屈折の下限はおおよそ0.06であるため $R < 0.10$ とすることは製造上困難である。したがって、Rの望ましい範囲としては、 $0.10 \leq R \leq 1.06$ となる。特に $0.18 \leq R \leq 0.30$ の範囲において、PとAを上記のように設定すれば、非常に高いコントラスト比と非常に高いオン透過率を同時に得ることが出来る。

【0148】ここで示したように偏光板の偏光軸と $\phi_r$ を適切に設定することによって、 $0.10 \leq R \leq 1.06$ ならば透過型表示装置としても反射型表示装置としても実用に耐える表示特性が得られ、 $R > 1.06$ ならば反射型表示装置として実用に耐える表示特性が得られる。上述の実施例では、z軸方向に観察したときに螺旋

68

$$(0.64 \leq R \leq 0.99)$$

$$(1.02 \leq R \leq 1.12)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.40)$$

$$(0.78 \leq R \leq 0.96)$$

$$(0.102 \leq R \leq 0.40)$$

$$(0.78 \leq R \leq 0.96)$$

$$* A = -P + \beta_1$$

③  $0.42 < R \leq 0.44$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2, \quad \text{又は}$$

$$A = -P + \beta_1$$

④  $0.44 < R < 0.473$  の場合、

$$A = P + \gamma \quad \text{但し} \quad -137.5 \times R - 75 \leq \gamma \leq -60$$

⑤  $0.473 \leq R \leq 0.7$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2 \quad \text{又は}$$

$$A = P + \alpha_3$$

⑥  $0.7 < R \leq 1.06$  の場合、

$$A = -P + \beta_1$$

$$-75^\circ \leq \alpha_2 \leq -35^\circ$$

$$70^\circ \leq \beta_1 \leq 110^\circ$$

$$20 * A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2, \quad \text{又は}$$

$$A = -P + \beta_1$$

④  $0.44 < R \leq 0.7$  の場合、

$$A = P + \alpha \quad \text{但し} \quad \alpha = -137.5 \times R + \alpha_2 \quad \text{又は}$$

$$A = P + \alpha_3$$

⑤  $0.7 < R \leq 1.06$  の場合、

$$A = -P + \beta_1$$

$$-70^\circ \leq \alpha_2 \leq -40^\circ$$

$$75^\circ \leq \beta_1 \leq 105^\circ$$

構造のねじれの向きが時計方向の場合についてのみ述べたが、反時計方向にねじれている場合は、偏光軸の角度を反時計方向に測ればよい。

【0149】(実施例8) 本実施例は、 $\phi_r = 180^\circ$ とした場合の他の実施例を示す。セルとしては、図2に示したようにガラス上にITO透明電極パターンを形成し、ポリイミド配向膜を塗布、表面にラビング処理を施した基板を適当なスペーサを介して所望のdを保って対向配置した物を用いた。実施例1~7とは、 $d/p_0$ 及び電極の形状に違いがある。

【0150】室温でネマティック相を呈する液晶組成物(E. Merck社製: MJ90179,  $\Delta n = 0.167$ )に光学活性添加剤(E. Merck社製: S811)を加えて $p_0 = 2.9 \mu\text{m}$ に調整した。S-811は左ねじれのらせん構造を誘起する。セルにはポリイミド配向膜(日本合成ゴム株式会社製: AL3046)に上下基板で反平行方向( $180^\circ$ )のラビング処理を施して $d = 1.7 \mu\text{m}$ となる構成とした。上記液晶組成物を封入するとプレティルト角は上下基板近傍で逆符号をもって約 $4^\circ$ となり、 $p_0/4 < d < 3p_0/4$ であるため、液晶分子の配向は基板法線方向に螺旋軸を持つ $180^\circ$ ツイス

ト状態となった。 $d/p_0 = 0.586$ であり、 $0.8 \phi_r / 360^\circ \leq d/p \leq 1.4 \phi_r / 360^\circ$  の条件に当てはまる。以上のようにして得られた試料を  $P = 50^\circ$ 、 $A = -50^\circ$  の配置で2枚の偏光板間に挟持して電極に図6の電圧波形を印加した。図6において201は走査電極波形、202は信号電極波形、203は201と202の合成波形であり、204はセルの電気光学応答をあらわす。選択期間  $t_{01}$  では略  $360^\circ$  ツイストの準安定状態、次の選択期間  $t_{11}$  では  $0^\circ$  ツイスト（以下、ユニフォームという）の準安定状態が発現し、前者を暗状態として光学的に識別されている。 $V1 = 2.8$ 、 $0\text{V}$ 、 $V2 = 1.5\text{V}$ 、パルス幅  $Pw = 350\mu\text{s}$  としてデューティー比  $1/400$  に相当する波形（ $t_{01} = t_{11} = 700\mu\text{s}$ 、 $t_0 = t_1 = 700\mu\text{s} \times 400$ ）で駆動したところ、非選択期間（ $t_{02} = t_{12}$ ）内の透過光量レベルは安定しており、コントラスト比  $1:77$ 、明状態の光透過率は約  $60\%$ （但し、2枚の偏光板の偏光軸を平行にして同光学系に配置した状態の透過率を  $100\%$  とする。以下同じ。）という特性が得られた。

【0151】（実施例9）実施例8において、液晶組成物（チソ石油化学製：SS-4103、 $\Delta n = 0.154$ ）に光学活性添加剤を加えて  $p_0 = 3.04\mu\text{m}$  に調整した。セルにはポリイミド配向膜（日本合成ゴム株式会社製：JALS-300）に上下基板で反平行方向（ $180^\circ$ ）のラビング処理を施して  $d = 1.65\mu\text{m}$  となる構成とした。上記液晶組成物を封入するとプレティルト角は上下基板近傍で逆符号をもって約  $6^\circ$  となり、 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、液晶分子の配向は基板法線方向に螺旋軸を持つ  $180^\circ$  ツイスト状態となった。 $d/p_0 = 0.543$  である。以上のようにして得られた試料を  $P = 50^\circ$ 、 $A = -50^\circ$  の配置で2枚の偏光板間に挟持して電極に図6の電圧波形を印加した。実施例8と同様な光学配置において  $V1 = 3$ 、 $0\text{V}$ 、 $V2 = 1.8\text{V}$ 、パルス幅  $Pw = 300\mu\text{s}$  としてデューティー比  $1/400$  に相当する波形で駆動したところ、非選択期間内の透過光量レベルは実施例8と同様に安定しており、コントラスト比  $1:112$ 、明状態の光透過率は約  $70\%$  という特性が得られた。

【0152】（実施例10）実施例9と同様に、 $p_0 = 2.36\mu\text{m}$ 、 $d = 1.65\mu\text{m}$ 、 $d/p_0 = 0.70$  の構成となるよう調整し、 $P = 50^\circ$ 、 $A = -50^\circ$  の配置として同様の電圧波形を印加した。非選択期間内の透過光量レベルは実施例8と同様に安定しており、コントラスト比  $1:114$ 、明状態の光等透過率  $70\%$  であった。

【0153】（実施例11）実施例9と同様に、 $p_0 = 4.13\mu\text{m}$ 、 $d = 1.65\mu\text{m}$ 、 $d/p_0 = 0.40$  の構成となるよう調整し、 $P = 50^\circ$ 、 $A = -50^\circ$  の配置にて同様の電圧を印加した。非選択期間内の透過光量レベルは実施例8と同様に安定しており、コントラ

スト比  $1:110$ 、明状態の光透過率  $70\%$  であった。

【0154】（比較例1） $d = 1.8\mu\text{m}$ 、 $p_0 = 2.5\mu\text{m}$ （ $d/p_0 = 0.72$ ）として他の条件は実施例8と同じ試料を作成した。 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、液晶分子の配向は基板法線方向に螺旋軸を持つ  $180^\circ$  ツイスト状態となるが、電圧波形を印加した状態では  $360^\circ$  ツイストの状態は保持されるが、ユニフォーム状態の安定性が極めて低く、非選択期間中に初期状態に緩和する挙動が見られた。

【0155】（比較例2） $d = 1.8\mu\text{m}$ 、 $p_0 = 4.9\mu\text{m}$ （ $d/p_0 = 0.37$ ）として他の条件は実施例8と同じ試料を作成した。 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、液晶分子の配向は  $180^\circ$  ツイスト状態となるが、電圧波形を印加した状態では  $0^\circ$  ユニフォームの状態は保持されるが、 $360^\circ$  ツイスト状態の安定性が悪く、非選択期間中に初期状態に緩和する挙動が見られた。

【0156】（比較例3）液晶配向層にSiO斜方蒸着膜を用いてプレティルト角が約  $26^\circ$  となる試料を作成した。 $d = 1.7\mu\text{m}$  として実施例8で使用したと同様な液晶材料を封入し、図6の駆動電圧波形を印加したところ、ユニフォーム配向の準安定状態のみが発現し、 $360^\circ$  ツイスト状態へのスイッチングは不可能であった。

【0157】印加電圧波形によって任意に選択可能な2つの準安定状態間のスイッチングを用いることにより、高コントラスト比で有効視野角の広い液晶表示装置が実現できる。また、同装置では選択された状態はメモリータイプの表示装置として実用上十分な時間に渡って保持されるので、単純マトリクス駆動によって走査線数の多い高精細ディスプレイへの対応が可能である。本発明は直視型の液晶表示装置のみならず、各種ライトバルブ、空間光変調器、電子写真方式のプリンターヘッド等にも応用できる。

【0158】（実施例12）セルとしてはガラス上にITO透明電極パターンを形成し、ポリイミド配向膜を塗布、表面にラビング処理を施した基板を適当なスペーサを介して所望の  $d$  を保って対向配置した物を用いた。概略の断面図を図2に示す。

【0159】（12-1）室温でネマティック相を呈する液晶組成物（E. Merck社製：ZLI-1557、 $\Delta n = 0.1147$ ）に光学活性添加剤を加えて  $p_0 = 3.5\mu\text{m}$  に調整した。セルにはポリイミド配向膜（日本合成ゴム株式会社製：AL3046）に図7に示すようにラビング方向  $33$  のラビング処理を施して  $d = 1.8\mu\text{m}$  となる構成とした。ラビング処理は一方の基板で透明電極  $31$ 、 $32$  の辺に対して  $45^\circ$ （図7に示す  $\phi_0 = 45^\circ$ ）の方向で行い、他方の基板ではこれに対して  $180^\circ$  回転した方向に処理を施した。上記液晶組成物を封入するとプレティルト角は上下基板近傍で逆符号をもって約  $4^\circ$  とな

り、 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、液晶分子の配向は基板法線方向にらせん軸を持つ  $180^\circ$  ツイスト状態となった。以上のようにして得られた試料を  $P=50^\circ$ 、 $A=-50^\circ$  の配置で2枚の偏光板間に挟持して電極に実施例8と同じく図6の電圧波形を印加した。回路機構は、概ね図8に示すとおり、符号11は液晶パネル、12は照明手段としてのバックライト、13は液晶パネルの走査電極群に電圧を印加するための駆動回路

(シフトレジスタ/論理回路)、14は信号電極群に電圧を印加するための駆動回路(シフトレジスタ/ラッチ/論理回路)、15は基準信号発生回路、16は線順次走査回路(ROM/コントローラ)である。この結果、非選択期間( $t_{02}$ 、 $t_{12}$ )内の透過光量レベルは安定しており、コントラスト比1:77、明状態の光透過率は約63%という特性が表示画素の全体に均一に得られた。

【0160】(12-2)上記の実施例において、 $\phi_0 = 10^\circ$  としたところ、同様な表示特性が得られた。

【0161】(比較例1)一方の基板に対するラビング方向を画素の1辺と一致させ(図7:  $\phi_0 = 0^\circ$ )、他の条件は同じである試料を作成した。 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、液晶分子の配向は基板法線方向に螺旋軸を持つ  $180^\circ$  ツイスト状態となるが、電圧波形を印加して  $360^\circ$  ツイストの状態を選択すると画素周辺のエッジ部分にユニフォーム状態のドメインが発現する挙動が見られた。

【0162】(実施例13)実施例12で用いた液晶組成物を封入して得られた素子( $p_0 = 3.2\mu\text{m}$ に調整されている点を除き、実施例12と同一である。)につき、ラビング方向と偏光板の偏光軸との配置を以下のとおりとした。図9は観察者Eと液晶表示装置D及び以下に使用する座標軸X、Y、Zの関係を表している。同図の液晶表示装置Dはx-y平面内に表示面を持ち、観察者Eはz軸方向から視線Lをもって表示面を見る。観察者から見た液晶表示装置の上下方向は同図のy軸方向に相当する。同様な座標系を用いて表示面とラビング方向及び偏光板の配置を表したのが図10である。同図において41は下基板(照明装置もしくは反射層側)に施されたラビング処理の方向、42は上基板(観察者側)に施されたラビング処理の方向、 $a_1$ 及び $a_2$ はそれぞれラビング方向41、42がy軸となす角、43と44はそれぞれ下基板側と上基板側に設けられた偏光板の偏光軸を表し、偏光軸43とy軸のなす角 $b_1$ 、偏光軸44とy軸のなす角を $b_2$ とする。本実施例では、

$$a_1 = a_2 = 0^\circ$$

$$b_1 = 45^\circ, b_2 = 38^\circ$$

とする事によって、後述する印加電圧波形に依存して発現する液晶のねじれ角が略( $\phi_r + 180^\circ = 360^\circ$ )の準安定状態を暗視野、略( $\phi_r - 180^\circ = 0^\circ$ )の状態を明視野とすることができる。

【0163】以上のようにして得られた素子の電極に図11に示す電圧波形を印加した。同図において401及び403は走査電極波形と信号電極波形の合成波形であり、402と404は同素子の電気光学応答をあらわす。選択期間 $T_1$ 、 $T_4$ では $360^\circ$ ツイストの準安定状態、 $T_2$ 及び $T_3$ では $0^\circ$ ツイストの準安定状態が発現し、前者を暗状態として光学的に識別されている。パルス幅 $Pw = 300\mu\text{s}$ としてデューティ比1/400に相当する波形( $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 600\mu\text{s}$ 、 $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 600\mu\text{s} \times 400$ )で駆動したところ、コントラスト比1:77、明状態の光透過率は約63%の特性が得られた。また、図9の配置において観察者Eを移動して視線Lとz軸のなす角度を様々に変化させて観察したところ、左右(x軸方向) $\pm 60^\circ$ 以上、上下(y軸方向) $\pm 45^\circ$ 以上の領域で視認性の良好な表示が認められた。

【0164】本実施例においては、印加波形によって任意に選択可能な2つの準安定状態間のスイッチングを用いる事により、高コントラスト比で有効視野角の広い液晶表示装置が実現できる。また、選択された状態はメモリータイプの表示装置として実用上充分な時間に渡って保持されるので、単純マトリクス駆動によって走査線数の多い高精細ディスプレイへの対応が可能である。本発明は直視型の液晶表示装置のみならず、各種ライトバルブ、空間光変調器等にも応用できる。

【0165】(実施例14)本願発明の液晶電気光学素子をマルチプレックス駆動する場合において、隣接する画素の間隙部分における光透過率が、画素部における光透過率よりも低く、高コントラスト比で有効視野角の広い液晶表示装置の例を示す。

【0166】ガラス基板上に感光性アクリル樹脂層をコートし、フォトマスクを用いた露光の後、現像および焼成を行って該樹脂のストライプパターンを形成した。同ストライプパターン上にITO透明電極をスパッタリング法によって成形し、配向膜塗布及びラビング処理を行って片側の基板とした。もう一方の基板としてはガラス上にITO透明電極のパターンを形成した上に $\text{SiO}_2$ 絶縁層を介して配向膜を塗布、ラビングした物を用いた。上記2枚の基板をスペーサを介して張り合わせ、図12(断面図)に示す構造のセルを得た。同図における符号は図2に示すものと同じであり、符号8は樹脂層、 $d$ は画素部における液晶層の厚さ、 $d_0$ は非画素部(隣接する画素の間隙部分)の液晶層の厚さを意味する。駆動回路構成は前記の図8によった。

【0167】室温でネマティック相を呈する液晶組成物(E. Merck社製: ZLI-1557、 $\Delta n = 0.1147$ )に光学活性添加剤を加えて $p_0 = 3.2\mu\text{m}$ に調整した。配向膜材料にはポリイミド(日本合成ゴム社製: JALS-300)を使用した。 $d = 1.8\mu\text{m}$ 、 $d_0 = 2.50\mu\text{m}$ とした。ラビング処理は一方の基板で画素の辺に対して



20° の方向で行い、他方の基板ではこれに対して180° 回転した方向に処理を施した ( $\phi_r = 180^\circ$ )。上記液晶組成物を封入するとプレティルト角は上下基板近傍で逆符号をもって約14° となり、 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、画素部における液晶分子の配向は基板法線方向に螺旋軸を持つ180° ツイスト状態となった。一方、 $d/p_0 \geq 0.75$  なる場合は、液晶のねじれ角は

$\phi_r + 180n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )  
となり、 $d_0/p_0 > 0.75$  であるため、非画素部では液晶は360° ツイスト状態になった。

【0168】 以上のようにして得られた素子の電極に図13の電圧波形を印加した。同図中301は走査電極波形、302は信号電極波形、303は301と302の合成波形であって液晶層に印加される駆動電圧波形に相当する。 $t_0$  及び  $t_1$  は各々ツイスト角略 ( $\phi_r + 180^\circ$ ) 及び略 ( $\phi_r - 180^\circ$ ) の準安定状態を選択するフレームであり、 $t_{01}$  と  $t_{11}$  は選択期間、 $t_{02}$  と  $t_{12}$  は非選択期間を表す。 $\phi_r + 180^\circ = 360^\circ$  を暗状態、 $\phi_r - 180^\circ = 0^\circ$  を明状態にする  $P = 50^\circ$ 、 $A = -50^\circ$  の偏光板配置とする事によって図11に表される光学応答が得られた。非画素部は電圧無印加の状態で略360° のツイスト角を有するため、同配置において遮光される。選択期間  $T_1$ 、 $T_4$  では略360° ツイストの準安定状態、 $T_2$  及び  $T_3$  では0° ツイストの準安定状態が発現している。 $V_1 = 30V$ 、 $V_2 = 1.0V$ 、パルス幅  $Pw = 250\mu s$  としてデューティ比1/400に相当する波形 ( $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 500\mu s$ 、 $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 500\mu s \times 400$ ) で駆動したところ、コントラスト比1:102、明状態の光透過率は約63%の特性が得られた。以上のように、隣接する画素間のツイスト状態を画素部のツイスト状態と異ならせることにより、非画素部の光透過率を抑え、コントラスト比を高めることができる。

【0169】 (実施例15) 実施例14と同様の目的のため実施した他の例を示す。その構成の断面図を図14に示す。同図中の符号は図12と同じであり、符号9は遮光物質である。

【0170】 同図の下側ガラス基板5上に、遮光物質としてクロム (Cr) の格子状パターン9を形成し、絶縁および平坦化のためのアクリル樹脂層8を介してITO透明電極4のストライプパターン、配向膜2を積層し、ラビング処理を行って下側の基板とした。もう一方の上側基板としてはガラス基板5上にITO透明電極のパターン4を形成した上に  $SiO_2$  絶縁層3を介して配向膜2を塗布して、ラビングした。上記2枚の基板をスペーサを介して上記クロムの格子間でITO透明電極が対向して画素を形成する様に張り合わせた。

【0171】 実施例14と同様な液晶組成物および配向膜を用いて、 $d = 1.8\mu m$  とした。ラビング処理は一

方の基板で画素の辺に対して60° の方向で行い、他方の基板ではこれに対して180° 回転した方向に処理を施した ( $\phi_r = 180^\circ$ )。上記液晶組成物を封入するとプレティルト角は上下基板近傍で逆符号をもって約14° となり、 $p_0/4 < d < 3p_0/4$  であるため、画素部における液晶分子の配向は基板法線方向に螺旋軸を持つ180° ツイスト状態となった。本実施例においては非画素部は金属 (Cr) の格子状パターンによって遮光されている。実施例14と同様な偏光板の配置、駆動電圧波形で測定したところ、コントラスト比1:113、明状態の光透過率は約61%の特性が得られた。以上のように、隣接する画素間に遮光物質を配置することにより、非画素部の光透過率が抑えられコントラスト比を高めることができる。

【0172】 (実施例16) 本実施例は、本願発明の液晶表示装置にカラーフィルターを配置し、単純マトリックス方式によるカラー表示を可能とした例を示す。図16はその構成の断面図を示す。符号は図14と同じであるが、符号10はカラーフィルターの層である。カラーフィルター10は赤、青、緑の各色を交互に配置することによって多色表示が可能となる。本実施例では、樹脂層8はカラーフィルター10の膜を平坦化する作用を有しており、遮光物質9によって非画素部の光透過率が抑えられコントラスト比を高めている。液晶材料は、実施例1における (1-6)  $R = 0$ 、28のものをを用いる場合が最適であった。本願発明をカラー表示可能な液晶表示装置に実施する場合、コントラスト比や透過率が優れているため、あざやかなカラー表示を実現することができる。

【0173】

【発明の効果】 本願発明は、双安定状態を有するカイラルネマティック液晶を電気光学素子として利用する場合、液晶初期状態、R、偏光軸とラビング方向との角度及びそれらがコントラスト比とオン透過率に及ぼす影響が全く不明であった上記従来の基本的問題点を解決するものであり、本願発明をマルチプレックス駆動により表示素子として応用するに際し、使用に耐え得る充分高い表示特性が得られるものである。本願発明は、ゲーム機用ディスプレイ、液晶テレビ等高コントラストが要求される電気光学素子として極めて有用なものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の液晶電気光学素子の断面図。

【図2】 本発明の液晶電気光学素子の断面図。

【図3】 偏光軸の角度の定義を表す図。

【図4】 駆動波形を示す図。

【図5】 偏光軸の角度  $P$ 、 $A$  の最適値を示す図。

【図6】 駆動波形を示す図。

【図7】 電極と配向処理方向の関係を説明する図。

【図8】 駆動回路の構成図。

【図9】 観察者と座標軸の関係を説明する図。

【図10】配向処理方向と偏光軸の関係を説明する図。

【図11】駆動波形を示す図。

【図12】液晶表示素子の構造を示す断面図。

【図13】駆動波形を示す図。

【図14】液晶表示素子の構造を示す断面図。

【図15】カラー液晶表示素子の構造を示す断面図。

【符号の説明】

- 1 液晶分子
- 2 配向膜
- 3 絶縁層
- 4 透明電極
- 5 ガラス基板
- 6 シール部材

7 偏光板

8 樹脂層

9 遮光物質

10 カラーフィルター

11 液晶パネル

12 バックライト

13、14 駆動回路

15 基準信号発生回路

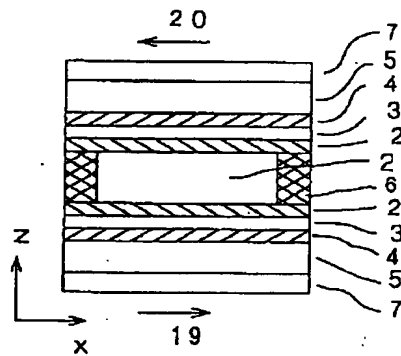
16 線順次走査回路

10 19、20、33、41、42 ラビング方向

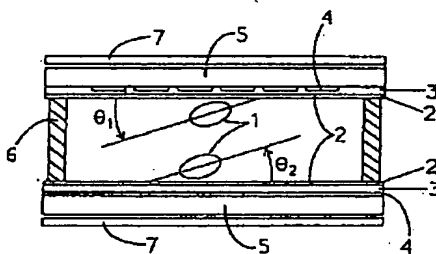
31、32 透明電極

43、44 偏光板の透過軸

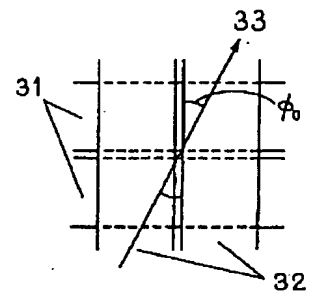
【図1】



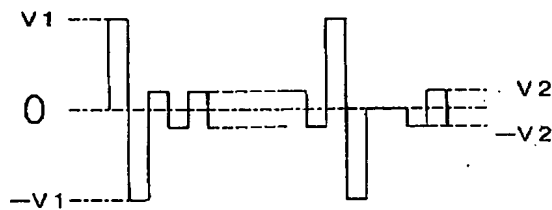
【図2】



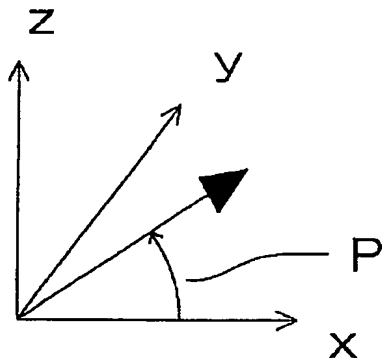
【図7】



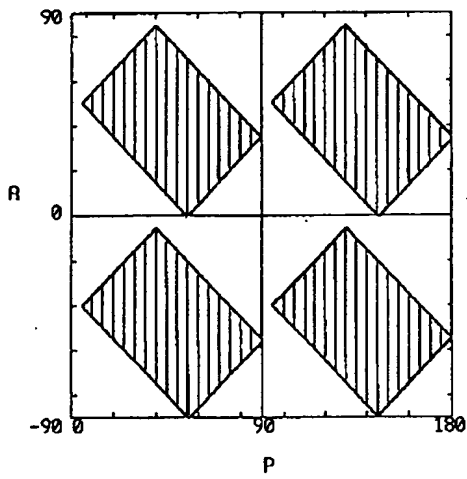
【図4】



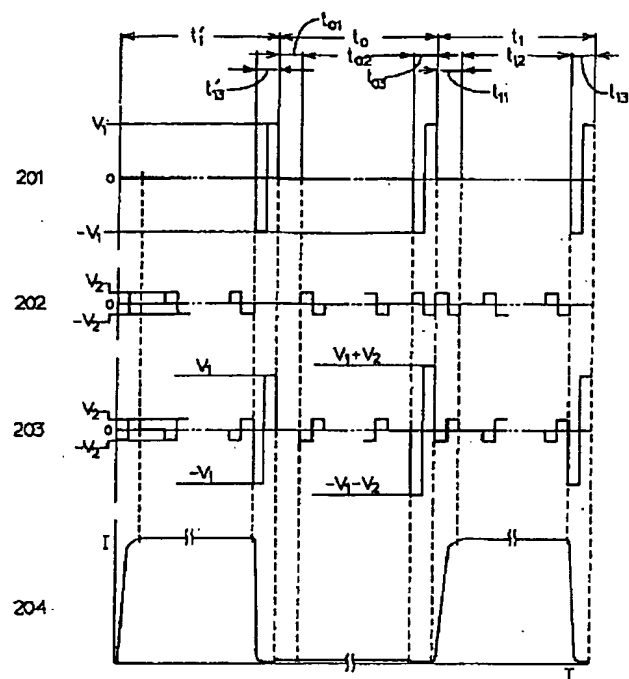
【図3】



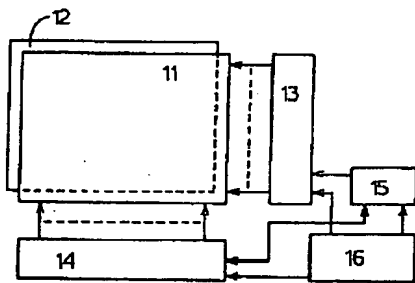
【図5】



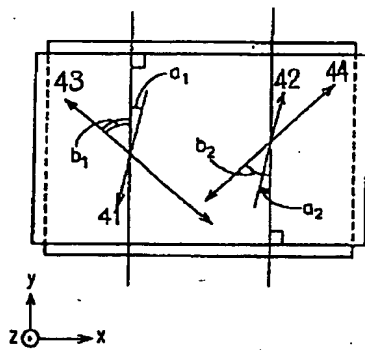
【図6】



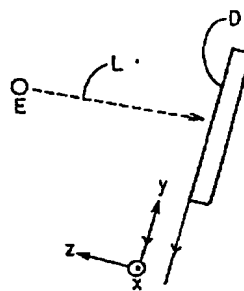
【図8】



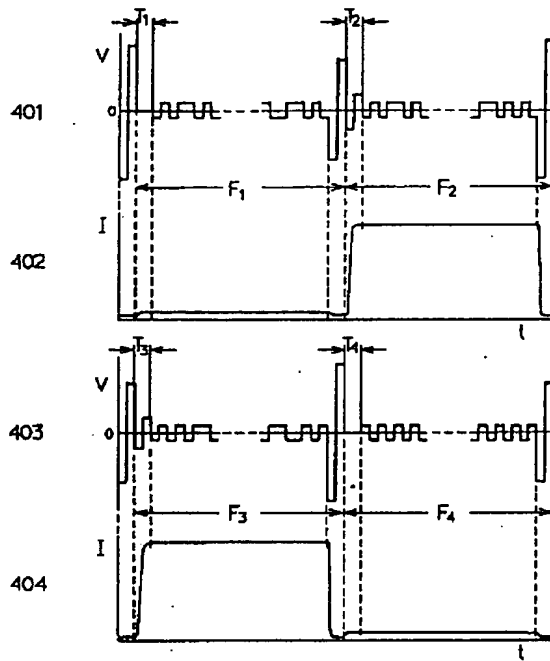
【図10】



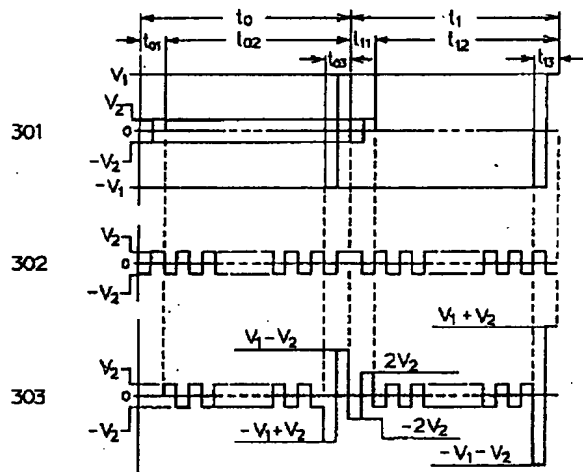
【図9】



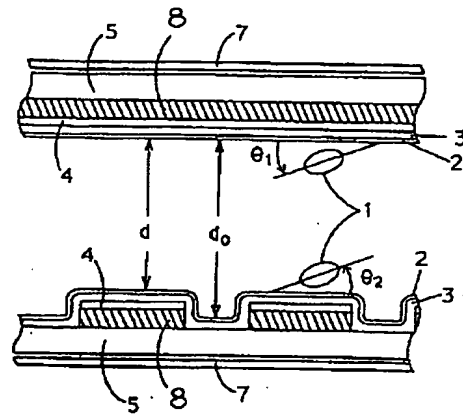
【図11】



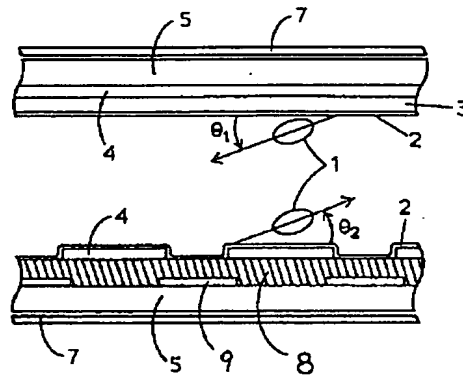
【図13】



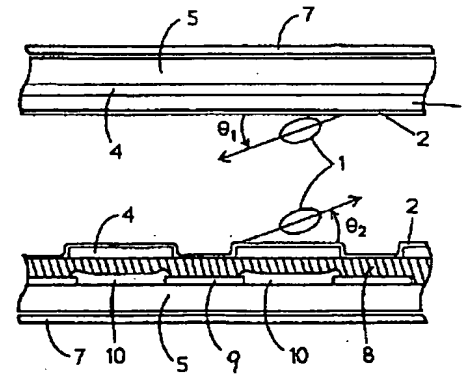
【図12】



【図14】



【図15】



## フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平4-263836  
(32)優先日 平4(1992)10月1日  
(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平4-339051  
(32)優先日 平4(1992)12月18日  
(33)優先権主張国 日本(JP)

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成13年1月12日(2001.1.12)

【公開番号】特開平6-235920

【公開日】平成6年8月23日(1994.8.23)

【年通号数】公開特許公報6-2360

【出願番号】特願平5-195601

【国際特許分類第7版】

G02F 1/137 510

1/133 560

G09G 3/36

【FI】

G02F 1/137 510

1/133 560

G09G 3/36

【手続補正書】

【提出日】平成12年5月25日(2000.5.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 一对の基板間に挟持されてなる液晶層と、前記一对の基板を挟持するように配置されてなる一对の偏光板を有してなる液晶電気光学素子において、前記液晶層は、液晶分子のねじれ角が略 $\phi_r$ である初期状態と、前記液晶分子のねじれ角が略 $(\phi_r + 180^\circ)$ と略 $(\phi_r - 180^\circ)$ である準安定状態を有してなり、

前記液晶層の厚さ $d$ と液晶分子の複屈折率 $\Delta n$ の積 $R$ ( $d \cdot \Delta n$ )及び前記 $\phi_r$ の値に応じて、各偏光板の偏光軸と一方の基板に施されてなるラビングのラビング方向との各角度 $P$ 、 $A$ とを設定することを特徴とする液晶電気光学素子。

【請求項2】 前記 $\phi_r$ が略 $180^\circ$ であることを特徴とする請求項1に記載の液晶電気光学素子。

【請求項3】 前記液晶の螺旋ピッチ $p_0$ と前記液晶層の厚さ $d$ が

$$0.8\phi_r/360^\circ \leq d/p_0 \leq 1.4\phi_r/360^\circ$$

であることを特徴とする請求項1に記載の液晶電気光学素子。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】本発明は、一对の基板間に挟持されてなる液晶層と、前記一对の基板を挟持するように配置されてなる一对の偏光板を有してなる液晶電気光学素子において、前記液晶層は、液晶分子のねじれ角が略 $\phi_r$ である初期状態と、前記液晶分子のねじれ角が略 $(\phi_r + 180^\circ)$ と略 $(\phi_r - 180^\circ)$ である準安定状態を有してなり、前記液晶層の厚さ $d$ と液晶分子の複屈折率 $\Delta n$ の積 $R$ ( $d \cdot \Delta n$ )及び前記 $\phi_r$ の値に応じて、各偏光板の偏光軸と一方の基板に施されてなるラビングのラビング方向との各角度 $P$ 、 $A$ とを設定することを特徴とする。